Coordinateur scientifique :
Jean-Claude Bernard

La marche de l'infirme moteur cérébral

enfant et adulte







La marche de l'infirme moteur cérébral enfant et adulte

Springer

Paris
Berlin
Heidelberg
New York
Hong Kong
Londres
Milan
Tokyo

Jean-Claude Bernard

La marche de l'infirme moteur cérébral enfant et adulte



Jean-Claude Bernard

Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical
de réadaptation des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

ISBN-10 : 2-287-25180-4 Springer Paris Berlin Heidelberg New York
ISBN-13 : 978-2-287-25180-1 Springer Paris Berlin Heidelberg New York

Imprimé en France

Springer-Verlag France est membre du groupe Springer Science + Business Media

SPIN : 11403128

Maquette de couverture : Nadia Ouddane

Liste des auteurs

Achache Valérie
Service de rééducation des pathologies neurologiques congénitales
Hôpital national de Saint-Maurice
14, rue du Val d'Osne
94410 Saint-Maurice

Adelen Patrice
Laboratoire d'informatique médical
des Hospices civils de Lyon
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation
des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Anjou (d') Marie-Charlotte
Service de médecine physique
et réadaptation fonctionnelle
Hôpital Bellevue
CHU de Saint-Étienne
42055 Saint-Étienne Cedex 2

Bagnol Marianne
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation
des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Bard Rachel
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation
des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Bérard Carole
Centre hospitalier Lyon Sud
Escale pavillon 6 F
69495 Pierre-Bénite Cedex

Bernard Jean-Claude
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation
des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Blanc Yves
Laboratoire de cinésiologie
clinique de neurologie
Hôpitaux universitaires Genève Suisse
Route de Frontenex, n° 43
1207 Genève

Bleyenheuft Corinne
Unité d'analyse quantifiée du mouvement
Centre régional spécialisé de l'Arche
Saint-Saturnin
72650 Le Mans

Bourelle Sophie
Service de chirurgie infantile
Hôpital Nord
CHU de Saint-Étienne
42055 Saint-Étienne Cedex 2

Chaléat-Valayer Emmanuelle
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation
des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Cottalorda Jérôme
Service de chirurgie pédiatrique
Hôpital Nord
CHU Saint-Étienne
42055 Saint-Étienne Cedex 2

Darmana Robert
Inserm unité 455 Pavillon Riser
Fédération de neurologie, CHU Purpan
31059 Toulouse Cedex 03

Decq Philippe
Service de neurochirurgie
Hôpital Henri Mondor
94010 Créteil

Delpierre Yannick
Unité d'analyse quantifiée du mouvement
Centre régional spécialisé de l'Arche
Saint-Saturnin
72650 Le Mans

Filipetti Paul
Médecine physique et réadaptation
Centre de l'Arche
1, boulevard du Maule
72650 Saint-Saturnin

Fiszman Anne
Service de rééducation des pathologies neurologiques congénitales
Hôpital national de Saint-Maurice
14, rue du Val d'Osne
94410 Saint-Maurice

Gastal Antoine
Hôpital national de Saint-Maurice
14, rue du Val d'Osne
94110 Saint-Maurice

Gautheron Vincent
CHU de Saint-Étienne
Hôpital Bellevue
27, boulevard Pasteur
42055 Saint-Étienne Cedex

Hodgkinson Isabelle
Département de neurochirurgie fonctionnelle
Service de rééducation infantile
Hôpital neurologique et centre hospitalier Lyon-Sud
CHU de Lyon

Kolanowski Élisabeth
Unité d'analyse quantifiée du mouvement
Centre régional spécialisé de l'Arche
Saint-Saturnin
72650 Le Mans

Loustalet Éric
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Menei Philippe
Service de neurochirurgie
CHU d'Angers
49033 Anger

Mertens Patrick
Neurochirurgie A
Hôpital neurologique et neurochirurgical
59, boulevard de Pinel
69677 Bron Cedex

Meurin Francisca
Médecine physique et réadaptation
Hôpital national de Saint Maurice
14, rue du Val d'Osne
94410 Saint-Maurice

Milioni Albert
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Morel Édith
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Palayer Capucine
Service de médecine physique et réadaptation fonctionnelle
Hôpital Bellevue
CHU de Saint-Étienne
42055 Saint-Étienne Cedex 2

Penneçot Georges-François
Chirurgie orthopédique
Hôpital Robert Debré
48, boulevard Serrurier
75 935 Paris Cedex 19

Pujol Anne
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Quentin Véronique
Service de rééducation des pathologies neurologiques congénitales
Hôpital national de Saint-Maurice
14, rue du Val d'Osne
94110 Saint-Maurice

Rech Célia
Service Vidal 1
Hôpital Raymond Poincaré
104, boulevard Raymond Poincaré
92380 Garches

Renaud Delphine
Service de rééducation des pathologies neurologiques congénitales
Hôpital national de Saint-Maurice
14, rue du Val d'Osne
94410 Saint-Maurice

Schneider Murièle
Service enfants-adolescents
Centre médico-chirurgical de réadaptation des Massues
92, rue Edmond Locard
69322 Lyon Cedex 05

Sindou Marc
Neurochirurgie A
Hôpital neurologique et neurochirurgical
59, boulevard de Pinel
69677 Bron Cedex

Vanel Olivier
Service de chirurgie pédiatrique
Hôpital Nord
CHU Saint-Étienne
42055 Saint Étienne Cedex 2

Vuillerot Carole
Centre hospitalier Lyon Sud
Escale pavillon 6 F
69495 Pierre-Bénite Cedex

SOMMAIRE

Quels examens pour le suivi de l'enfant infirme moteur cérébral marchant ? **13**
C. Bérard et C. Vuillerot

De l'évaluation au traitement : comment l'analyse quantifiée de la marche (AQM) modifie notre regard sur le jeune IMC marchant /déambulant **23**
V. Quentin, F. Meurin, V. Achache, A. Fiszman et D. Renaud

Conséquences biomécaniques des anomalies de torsion des membres inférieurs sur le pied pendant la marche **45**
R. Darmana

Apport de l'EMG cinésiologique dans l'analyse de la marche de l'enfant IMC **63**
Y. Blanc

Injections de toxine botulique chez l'enfant IMC : stratégie multisites, évaluation multidimensionnelle, prises en charge associées **71**
E. Chaléat-Valayer, J.-C. Bernard et É. Morel

Aide de l'analyse quantifiée de la marche (AQM) dans la prise en charge chirurgicale de l'IMC marchant ou déambulant **89**
G.-F. Penneçot

Rééducation après chirurgie fonctionnelle multisites de lutte contre la triple flexion chez des enfants IMC marchant ou déambulant. Analyse statistique des résultats à court et moyen terme **93**
J.-C. Bernard, É. Morel, É. Loustalet, R. Bard, A. Pujol, P. Adelen et A. Milioni. Avec la participation de : E. Chaléat-Valayer, M. Schneider et M. Bagnol

Insuffisant moteur cérébral à potentiel ambulatoire et baclofène intrathécal **135**
P. Filipetti, É. Kolanowski, C. Bleyenheuft, P. Menei, P. Decq et Y. Delpierre

Analyse posturographique d'enfants infirmes moteurs cérébraux après traitement d'un équin **143**
S. Bourelle, J. Cottalorda, O. Vanel, M.-C. d'Anjou, C. Palayer et V Gautheron

Le traitement neurochirurgical de la spasticité invalidante des membres inférieurs chez l'enfant **159**
P. Mertens, I. Hodgkinson, C. Bérard et M. Sindou

Étude retrospective des moyens thérapeutiques mis en œuvre chez l'IMC marchant **167**
A. Gastal et C. Rech

Quels examens pour le suivi de l'enfant infirme moteur cérébral marchant ?

C. Bérard et C. Vuillerot

Introduction

Comment suivre un enfant infirme moteur cérébral (IMC) à potentiel de marche ? Comment le décrire avec un langage compréhensible par tous ? Comment mesurer objectivement l'évolution de ses performances motrices plus ou moins influencées par les différents traitements proposés ? Sur quels arguments décider d'un traitement plus « agressif » ? Toutes ces questions sont fondamentales et indispensables au clinicien s'occupant d'IMC. Seule une approche quantifiée et objective permettant de regrouper des enfants ayant des points communs permettra de comparer les résultats et donc de progresser dans les indications thérapeutiques.

Il n'est pas question d'être exhaustif. Chacun a ses propres habitudes. Nous n'évoquons ici que certains examens ou classifications qui nous sont utiles dans notre suivi quotidien d'enfants IMC marchants. Seuls les examens concernant le problème neuromoteur et neuro-orthopédique en lien avec la marche sont abordés dans ce chapitre. Cependant, on rappelle l'importance des troubles associés sensoriels, de l'épilepsie et des difficultés neuropsychologiques qui peuvent interférer avec les problèmes moteurs.

Enfin, le diagnostic d'IMC est supposé confirmé au sens de « *cerebral palsy* » défini comme un ensemble de troubles du mouvement et/ou de la posture et de la fonction motrice, ces troubles étant permanents mais pouvant avoir une expression clinique changeante dans le temps et étant dus à un désordre, une lésion ou une anomalie non progressive d'un cerveau en développement ou immature (1). Néanmoins, en présence d'une évolution atypique et surtout s'il n'existe pas chez le diplégique une prématurité ou des antécédents périnataux pathologiques, il convient de remettre en cause ce diagnostic.

Nous n'abordons pas l'examen vidéo et l'analyse quantifiée de la marche (AQM), sujets traités par V. Quentin dans le chapitre suivant.

L'interrogatoire

Nous commençons par questionner les parents sur l'âge de l'enfant lors de leurs premières inquiétudes puis sur la date des principales acquisitions motrices : âge de la station assise, âge de la marche avec et sans aide technique. Nous définissons la marche comme la possi-

bilité d'enchaîner dix pas sans l'aide de l'adulte, que l'enfant se soit mis debout seul ou non. Nous précisons ensuite l'utilisation éventuelle d'un appareillage et/ou d'une aide technique en détaillant l'aide ou la gêne qu'ils occasionnent et ceci en fonction des différents lieux de vie de l'enfant. L'interrogatoire des parents n'est pas toujours fiable en ce qui concerne l'âge de la marche pour les enfants les plus déficients pour lesquels l'apprentissage s'est fait difficilement avec une amélioration très progressive des performances. Nous distinguons la marche qui correspond à un appui exclusif sur les membres inférieurs et/ou supérieurs de la déambulation (en trotteur ou flèche) où une partie plus ou moins importante du poids du corps est transmise du bassin au sol par l'intermédiaire de l'aide technique. Nous utilisons le terme « faire des pas » pour l'enfant qui ne peut se déplacer debout qu'avec une tierce personne, cette dernière exerçant une aide au niveau du thorax, de la taille, du bassin ou en tenant les membres supérieurs.

Nous décrivons le mode de déplacement privilégié, c'est-à-dire le plus souvent utilisé, en intérieur, en distinguant maison / école et en extérieur. Nous quantifions le périmètre de marche en distance ou en temps. Nous précisons les capacités de marche de l'enfant en terrain accidenté et dans les escaliers ainsi que la fréquence et le mécanisme des chutes.

Les différentes échelles existantes basées sur les capacités de déplacement donnent au clinicien les moyens de classer les enfants par groupes homogènes de façon objective et reproductible. Le score de Palisano (2) classe les enfants en cinq niveaux de gravité. À chaque niveau correspond une description clinique du déplacement de l'enfant en fonction de son âge : avant 2 ans, entre 2 et 4 ans, entre 4 et 6 ans et entre 6 et 12 ans. Le score de Gillette (3) est un auto-questionnaire (fig.1) qui renseigne sur les capacités de marche de l'enfant en intérieur et en extérieur. Ces deux outils sont validés chez l'enfant IMC.

1. Ne peut faire aucun pas quelles que soient les conditions.
2. Peut faire quelques pas avec l'aide d'une tierce personne. Ne supporte pas complètement le poids du corps sur les pieds. Ne marche pas de façon régulière.
3. Marche pendant les séances de rééducation mais non pour les déplacements habituels à l'intérieur du domicile. Nécessite habituellement l'aide d'une tierce personne.
4. Marche à l'intérieur du domicile mais lentement. N'utilise pas la marche comme mode de déplacement préférentiel au domicile (marche essentiellement de rééducation).
5. Marche plus de 4,5 jusqu'à 15 mètres mais uniquement à l'intérieur du domicile ou de l'école (la marche à l'intérieur du domicile est le mode de déplacement habituel).
6. Marche plus de 4,5 jusqu'à 15 mètres à l'extérieur de la maison mais utilise habituellement un fauteuil roulant ou une poussette pour les déplacements en ville ou dans les espaces encombrés.
7. Marche à l'extérieur de la maison, pour se déplacer en ville, mais seulement sur les terrains plats (ne peut négocier les trottoirs, les terrains irréguliers et les escaliers qu'avec l'aide d'une tierce personne).
8. Marche à l'extérieur de la maison, pour se déplacer en ville, est capable de négocier les trottoirs et terrains irréguliers en plus des terrains plats, mais nécessite habituellement une aide *a minima* ou la supervision d'une tierce personne par sécurité.
9. Marche à l'extérieur de la maison, pour se déplacer en ville, se déplace facilement sur terrains plats, trottoirs et terrains irréguliers mais a de la difficulté ou nécessite une aide minime pour courir et/ou grimper les escaliers.
10. Marche à l'extérieur de la maison, pour se déplacer en ville. Marche, court, grimpe sur terrains réguliers et irréguliers, sans difficulté ni aide.

Si on hésite entre deux cotations, on choisit la cotation inférieure.

Fig. 1 - Score de Gillette.

Nous interrogeons l'enfant et les parents sur l'existence éventuelle de douleurs, leur ancienneté, leur localisation, leur intensité, leurs facteurs déclenchants ainsi que leur retentissement sur la marche.

Nous précisons l'évolution perçue par les parents des performances de l'enfant : stables, améliorées ou aggravées par rapport à 6 mois auparavant pour les enfants de moins de 6 ans et 12 mois pour les enfants de plus de 6 ans. Si les parents décrivent une dégradation, nous cherchons à connaître les capacités fonctionnelles maximales antérieures.

Enfin, nous notons l'éventuelle prise en charge rééducative en kinésithérapie ou par d'autres intervenants (ergothérapeute, orthophoniste, psychomotricien) en libéral ou dans le cadre d'une équipe pour établir des liens et coordonner la prise en charge autour de l'enfant (4).

L'observation de la marche

L'observation de la marche et de ses troubles éventuels est un temps essentiel de l'examen.

Elle se fait dans un espace suffisamment grand en essayant chez le tout-petit de détourner son attention. Nous l'observons d'abord habillé et chaussé. Ensuite c'est déshabillé et pieds nus que nous l'observons à l'arrêt et à la marche, parfois à la course, de face et de profil. L'observation se concentre successivement sur la position des différents segments des membres et articulations lors des temps successifs de la marche. Chaque côté est analysé séparément. Dans certains cas, nous demandons à l'enfant de se mettre en position, et s'il le peut, de marcher, à genoux dressés.

La position du tronc à l'arrêt et pendant la marche est d'autant plus détaillée qu'elle n'est habituellement pas renseignée par l'analyse tridimensionnelle de la marche en laboratoire.

L'examen analytique sur table

À l'inspection globale de l'enfant, on recherche des mouvements anormaux lors des consignes de repos signant l'athétose ou une dystonie lors des mouvements volontaires. L'examen neurologique précise l'existence d'éventuels signes cérébelleux venant confirmer une ataxie observée lors de la station debout.

L'examen se poursuit par une évaluation systématique selon un protocole rigoureux de toutes les articulations, les segments de membres et les groupes musculaires.

La spasticité

Elle résulte de l'exagération du réflexe d'étirement s'opposant aux déplacements rapides. L'hypersensibilité de l'arc réflexe médullaire (ou myotatique) constitue l'anomalie majeure entraînant à la fois spasticité, hyper-réflectivité et clonus (oscillation rythmique

d'un segment de membre, déclenchée par un étirement rapide). La spasticité prédomine sur les muscles fléchisseurs aux membres supérieurs et sur les muscles extenseurs aux membres inférieurs ainsi que sur les muscles biarticulaires. La spasticité n'est pas identique d'un groupe musculaire à l'autre, de telle sorte que les membres tendent à adopter des postures anormales. Ces postures anormales vont entraîner des raccourcissements musculotendineux ou rétractions qui sont mis en évidence par des limitations des amplitudes articulaires à la mobilisation lente.

Chaque muscle ou groupe musculaire est évalué séparément au niveau de chaque segment de membre, des hanches et du tronc. La spasticité peut être cotée en utilisant soit l'échelle de Tardieu (fig. 2) soit celle d'Ashworth (fig. 3) qui sont plus ou moins adaptées selon le groupe musculaire étudié (5).

0 : Pas de résistance tout au long du mouvement.
1 : Discrète augmentation de la résistance au cours du mouvement passif sans que l'on puisse distinguer clairement un ressaut à un angle précis.
2 : Ressaut franc interrompant le mouvement passif à un angle précis, suivi d'un relâchement.
3 : Clonus épuisable (moins de dix étirements maintenus) survenant à un angle précis.
4 : Clonus inépuisable (plus de dix étirements maintenus) survenant à un angle précis.

Fig. 2 - Échelle de Tardieu.

0 : Pas d'augmentation de tonus.
1 : Augmentation discrète du tonus musculaire se manifestant par un ressaut suivi d'un relâchement ou par une résistance minime à la fin du mouvement.
1+ : Augmentation discrète du tonus musculaire se manifestant par un ressaut suivi d'une résistance minime perçue sur moins de la moitié de l'amplitude articulaire.
2 : Augmentation plus marquée du tonus musculaire touchant la majeure partie de l'amplitude articulaire, l'articulation pouvant être facilement mobilisée.
3 : Augmentation importante du tonus musculaire rendant la mobilisation passive difficile.
4 : L'articulation concernée est fixée en flexion ou en extension, en abduction ou adduction.

Fig. 3 - Échelle d'Ashworth modifiée.

Les amplitudes articulaires

Elles sont mesurées sur un enfant détendu, d'abord en décubitus dorsal puis en décubitus ventral. Les mesures sont faites de façon unilatérale, en étirement maximal obtenu par des mobilisations à vitesse lente. Certaines mesures nécessitent le contrôle et si possible la correction des positions anormales de l'articulation sus- et sous-jacente en particulier l'arrière-pied pour l'amplitude de flexion dorsale de cheville (fig. 4). L'existence d'un protocole précis assure la reproductibilité des mesures et un protocole commun facilite les échanges entre les équipes (6).



Fig. 4 - Mesure de la flexion dorsale de cheville genou fléchi.
Position : hanche fléchie, genou fléchi, valgus ou varus calcanéen corrigé.
Mouvement de flexion dorsale en conservant le calcanéum axé et en contrôlant le médio-pied.
Goniométrie : branche fixe sur l'axe de la jambe, branche mobile sur l'axe de l'arrière-pied, en interne, parallèle à la face plantaire du talon.

Le contrôle moteur sélectif

Le contrôle moteur sélectif est la capacité à dissocier la contraction des différents muscles lors d'un mouvement actif, dissociation souvent difficile chez l'IMC du fait des co-contractions entre agonistes et antagonistes. Cette notion initialement décrite par Boyd et Graham en 1999 (7) peut être cotée sur tous les muscles des membres inférieurs (fig. 5).

0 : Pas de CMS, contraction minime.
0,5 : Contraction et mouvements minimes et/ou beaucoup de co-contractions.
1 : Mauvais contrôle sélectif, commande dissociée, mouvement limité, co-contractions possibles.
1,5 : CMS correct mais défaut de fluidité ou limitations dans le mouvement (co-contractions)
2 : CMS parfait, contraction et muscles appropriés.

Fig. 5 - Cotation du contrôle moteur sélectif (CMS).

La force musculaire

Elle peut être testée sur les muscles qui sont commandés sélectivement en utilisant la classification internationale de cotation de la force motrice de 0 à 5.

Cet examen des membres inférieurs est complété par un examen de la colonne vertébrale dans les plans frontal, horizontal et sagittal lors de la station debout et sur table. L'analyse des empreintes plantaires sur le podoscope permet de confirmer les appuis pathologiques dépistés par l'examen de la plante des pieds sur la table d'examen ou soupçonnés lors de l'observation de la marche ou de l'usure des semelles de chaussures.

L'analyse des membres supérieurs est également importante surtout si l'enfant doit utiliser une aide technique de marche.

L'évaluation fonctionnelle objective

L'évaluation motrice fonctionnelle globale

L'évaluation motrice fonctionnelle globale (EMFG) (8) est un outil d'observation standardisé, traduit de l'échelle canadienne « *The Gross Motor Function Measure* » (9) conçue et validée pour mesurer le changement dans la motricité fonctionnelle globale au fil du temps chez les enfants IMC. Elle comprend 88 items répartis en 5 dimensions qui peuvent être analysées séparément : A (couché et retournements), B (position assise), C (quatre pattes et à genoux), D (station debout et marche) et E (course et saut). L'EMFG-66 utilisant le logiciel GMFM-66 *Ability Estimator* (10) permet de calculer un score même si tous les items ne sont pas renseignés, mais ne comporte qu'une seule dimension. Les 22 items qui n'apparaissent plus dans la version à 66 items sont tous dans les dimensions A, B et C. L'EMFG-66 est donc moins informatif pour les enfants les plus déficients mais plus sensible au changement pour les enfants les plus performants (11). L'EMFG reflète les capacités de marche en intérieur avec un effet plafond le rendant peu sensible au changement pour les bons marcheurs. Les scores successifs des évaluations avec l'EMFG peuvent être reportés sur une courbe permettant de visualiser pour les professionnels et la famille l'évolution de l'enfant (fig. 6).

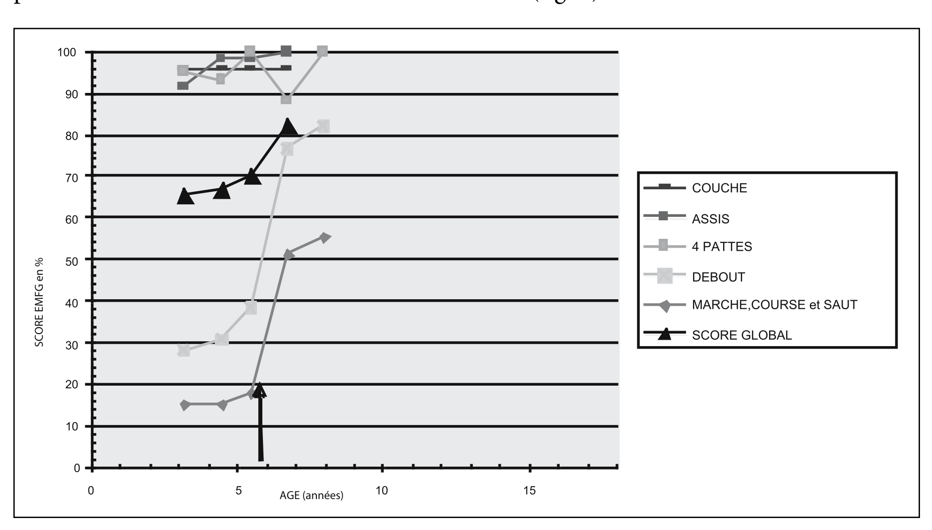


Fig. 6 - Courbe de l'évolution des évaluations motrices fonctionnelles globales d'un enfant atteint de diplégie spastique et ayant bénéficié d'une chirurgie multisite des membres inférieurs ; après la chirurgie, on note une dégradation transitoire de la dimension « quatre pattes » et une amélioration du score global ainsi que des dimensions « debout et marche » et « course et saut ».

L'index de dépense énergétique

Nous évaluons la fatigue de l'enfant lors de la marche par l'Index de Dépense Énergétique (IDE) (12) mesuré sur un parcours circulaire en intérieur. L'enfant marche à vitesse spontanée, pendant 5 minutes (chronométrées). On note la distance exacte parcourue pendant ce temps. On calcule la moyenne des fréquences cardiaques enregistrées lors de la dernière minute de marche. L'IDE correspond au rapport entre cette fréquence cardiaque moyenne et la vitesse en mètres par minute. Cette mesure reflète les capacités de marche en extérieur. Elle donne la vitesse spontanée de marche à comparer avec celle obtenue lors de l'enregistrement de la marche sur une dizaine de mètres en laboratoire. Elle est moins précise que la consommation d'oxygène mais plus simple de réalisation. La mesure régulière des IDE renseigne sur l'évolution de l'endurance de l'enfant dans le temps en fonction des différentes thérapeutiques.

L'examen radiographique

L'examen clinique est suffisant dans la plupart des cas pour assurer le suivi de l'enfant IMC marchant. Cependant, il faut vérifier que les hanches sont bien centrées et couvertes. Sur une radiographie du bassin de face en position couchée, on mesure le pourcentage d'excentration par le rapport entre la partie de la tête fémorale non couverte par le cotyle et la largeur totale de la tête fémorale. L'évolution de ce pourcentage de migration dans le temps constitue l'indice de Reimers (13).

Les autres radiographies sont demandées en fonction des déformations existantes. La radiographie de colonne de profil en position debout permet de mesurer la lordose, la pente sacrée ou angle de Ferguson et l'angle sacro-fémoral (14) (fig. 7). Sur ce cliché, on recherche une éventuelle spondylolyse ou un spondylolisthésis. Sur le cliché des genoux de profil à 30° de flexion, nous mesurons la hauteur des rotules par l'indice de Caton (15) (fig. 8) et nous visualisons une éventuelle fracture de fatigue au niveau de la pointe de la rotule. Les radiographies des pieds en charge objectivent les déformations observées cliniquement.

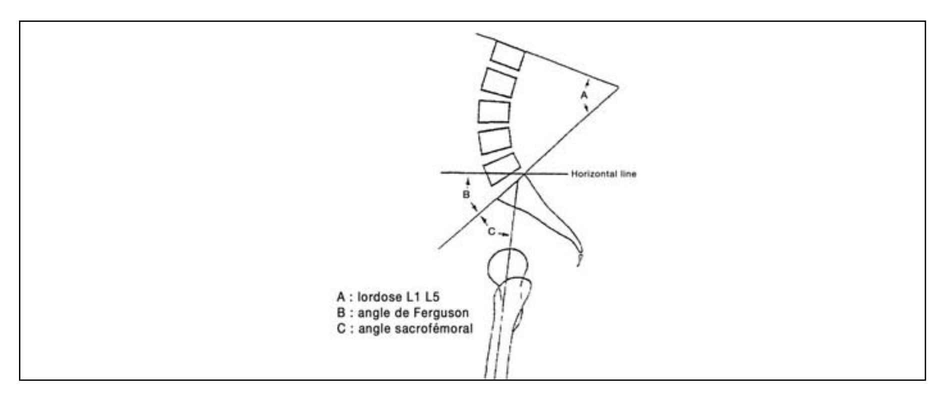


Fig. 7 - Mesure des angles de lordose (A), de pente sacrée ou angle de Ferguson (B) et sacro-fémoral (C) sur un cliché de profil en position debout.

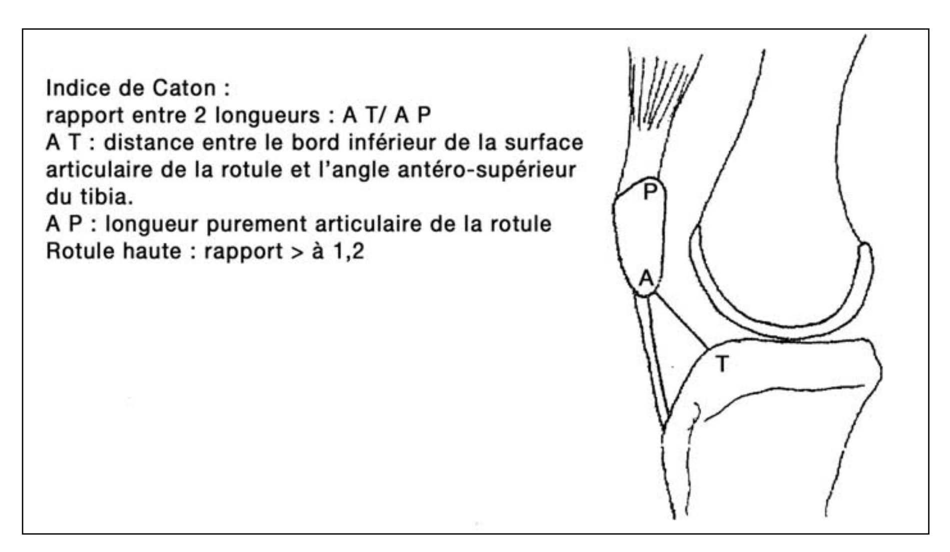


Fig. 8 - Mesure des paramètres objectivant la hauteur de la rotule sur un cliché de genou de profil.

La fréquence des examens

Elle dépend de l'âge de l'enfant et de l'évolution de ses capacités motrices en sachant que le maximum des capacités est atteint d'autant plus tôt que l'enfant est plus déficient (16). Les parents sont avertis dès le plus jeune âge d'une possible dégradation motrice à l'occasion des poussées de croissance, notamment en lien avec le développement pubertaire. D'une façon générale, nous proposons un suivi annuel systématique. Si l'on veut objectiver l'efficacité d'un traitement par plâtres, toxine ou chirurgie, les examens de suivi doivent être réalisés idéalement dans le mois précédant l'intervention pour être comparés aux mêmes examens réalisés dans les suites. De la même façon, les rubriques D (station debout) et E (marche, course et saut) de l'EMFG peuvent être passées avec et sans appareillage et/ou aide technique et les scores comparés pour apprécier le retentissement fonctionnel de l'orthèse ou de l'aide de marche utilisée.

En conclusion

En fonction des données recueillies lors des différents examens qui viennent d'être décrits, complétés par un enregistrement vidéo et, dans certains cas, par une AQM, des propositions thérapeutiques peuvent être évoquées. Ces propositions thérapeutiques vont également dépendre de l'expérience et des habitudes des professionnels ainsi que de la demande de l'enfant et ses parents. Lorsqu'un geste thérapeutique nouveau risque de modifier l'état fonctionnel de l'enfant, il est impératif de connaître ses attentes

esthétiques et fonctionnelles, en terme de soulagement de ses douleurs, de diminution de la kinésithérapie ou du port de l'appareillage et sa motivation compte tenu des contraintes du traitement. Il doit être informé des améliorations escomptées mais aussi des pertes possibles ainsi que des suites de l'acte thérapeutique (rééducation, appareillage).

Lorsque l'enfant est suivi par une équipe de professionnels, par exemple dans le cadre d'un centre d'action médico-social précoce ou d'un service de soins à domicile, il est souhaitable que cette dernière participe aux réunions multidisciplinaires de concertation sur dossiers qui doivent idéalement se dérouler avant qu'une décision soit prise à l'occasion d'une consultation. Ces réunions de concertation nécessitent au minimum un enregistrement vidéo de la marche et un examen analytique dont les valeurs communiquées sont compréhensibles par tous. C'est au cours de ces réunions de concertation sur dossiers que sont précisés les objectifs des professionnels qui peuvent être différents de ceux de la famille.

Les résultats à court et moyen terme d'une thérapeutique ponctuelle sont évalués par la comparaison des examens de suivi, le fait d'avoir atteint ou non les différents objectifs fixés ainsi que la satisfaction de l'enfant et de ses parents, évaluée à partir d'une échelle visuelle analogique.

Références

1. SCPE collaborative group (2000) Surveillance of cerebral palsy in Europe. Why a European collaboration of Cerebral Palsy surveys and registers? Dev Med Child Neurol 42: 816-24
2. Palisano RJ, Hanna SE, Rosenbaum PL, Russell DJ *et al.* (2000) Validation of a model of gross motor function for children with cerebral palsy. Phys Ther 80: 974-85
3. Novacheck TF, Stout JL, Tervo R (2000) Reliability and validity of the Gillette functional assessment questionnaire as an outcome measure in children with walking disabilities. J pediatr orthop 20: 75-81
4. Bérard C, Hodgkinson I (2005) L'accompagnement pluridisciplinaire. In : Cottalorda J (ed) L'infirme moteur cérébral marchant. De l'annonce du handicap à la prise en charge de l'adulte. Sauramps Montpellier, p 47-54
5. Hodgkinson I, Vadot JP, Bérard C (2003) Évaluation clinique de l'enfant spastique. Neurochir 49 : 199-204
6. Groupe Varax (2005) Guide de l'examen clinique neuromoteur de l'enfant infirme moteur cérébral (ed). Sauramps Montpellier
7. Boyd RN, Graham HK (1999) Objective measures of clinical findings in the use of botulinium toxin type A for the management of children with cerebral palsy. Eur J Neurol: 523-535
8. Hodgkinson I, Bérard C (1998) Évaluation motrice fonctionnelle globale (EMFG) : une mesure objective pour les enfants infirmes moteurs cérébraux. Motricité cérébrale 19: 9-12
9. Russell D, Rosenbaum P, Cadmen D *et al.* (1989) The gross motor function: a means to evaluate the effects of physical therapy. Dev Med Child Neurol 31: 341-52
10. Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM, Lane M (2002) Gross motor function measure (GMFM-66 et GMFM-88) user's manual. Mac Keith press, Londres

11. Russell DJ, Avery LM, Rosenbaum PL *et al.* (2000) Improved scaling of the gross motor function measure for children with cerebral palsy: evidence of reliability and validity. Phys Ther 80: 873-85
12. Cristol C, Bérard C (1998) Évaluation fonctionnelle de la marche par l'index de dépense énergétique. Valeurs de référence chez l'enfant. Ann Réadapt Med Phys 41: 429-33
13. Reimers T (1980) The stability of the hip in children. A radiological study of the results of muscle surgery in cerebral palsy. Acta orthopaedica Scandinavia supp: 1-100
14. Harada T, Ebara S, Anwar MM *et al.* (1993) The lumbar spine in spastic diplegia. J Bone and Joint Surg 75-B: 534-7
15. Aparicio G, Abril JC, Albinana J, Rodriguez-Salvanes F (1999) Patellar height ratios in children: an interobserver study of three methods. J Pediatr Orthop B8: 29-32
16. Rosenbaum PL, Walter SD, Hanna SE *et al.* (2002) Prognosis for gross motor function in cerebral palsy. JAMA 288: 1357-63

De l'évaluation au traitement : comment l'analyse quantifiée de la marche (AQM) modifie notre regard sur le jeune IMC marchant /déambulant

V. Quentin, F. Meurin, V. Achache, A. Fiszman et D. Renaud

Introduction

L'analyse quantifiée de la marche et du mouvement (AQM) est un examen complémentaire ; les informations recueillies sont corrélées aux données protocolisées de l'examen clinique (analytique et fonctionnel). L'AQM permet l'enregistrement croisé de données cinématiques, cinétiques et électromyographiques observées lors de la marche et du mouvement.

L'analyse quantifiée de la marche est devenue un outil d'évaluation incontournable dans la démarche diagnostique clinique et thérapeutique chez l'enfant infirme moteur cérébral (IMC) marchant/déambulant. L'analyse du mouvement permet de complémenter la référence statique avec une évaluation dynamique de chaque articulation.

La complexité des troubles neuromoteurs, cognitifs et psychocomportementaux ainsi que leurs intrications chez l'IMC imposent une approche plurielle.

Sur ces dernières années dans le domaine neuromoteur, l'approche clinique et thérapeutique s'est enrichie du croisement d'outils d'évaluation cliniques et thérapeutiques complémentaires, garant d'une meilleure prise en charge à l'aube où de nouvelles armes « thérapeutiques » émergent, en particulier dans le domaine de la spasticité et de la chirurgie orthopédique fonctionnelle.

Ces nouvelles approches enrichissent la classique analyse factorielle.

Les outils d'évaluation

L'examen clinique neuromoteur reste la référence centrale, mais la variabilité des mesures en est connue (11). Il tend à :
– se protocoliser (mesure des mobilités articulaires…) ;
– systématiser l'utilisation d'échelles standardisées :
• cliniques (spasticité, sélectivité de la commande) ;

• fonctionnelles (EMFG : évaluation motrice fonctionnelle globale (20, 35, 36) / IDE : index de dépendance énergétique (6) / score de Gillette : appréciation par les parents de l'état fonctionnel de leur enfant [23]) ;
• de qualité de vie (VSP A et Ae : vécu et senti perçu de l'enfant et de l'adolescent [39]).

L'examen de la marche nécessite au minimum un enregistrement vidéo (analyse observationnelle de la marche/mouvement), dans des conditions qui tendent à se standardiser. Cet examen permet une description morphologique de la marche. Plusieurs échelles d'analyse vidéo de la marche ont été développées permettant de scorer les différents temps clé de la marche de l'IMC.

On peut coupler la vidéo à un enregistrement électromyographique (essentiellement électrodes de surface) : EMG-Vidéo, examen validé (5, 41) permettant une analyse synchronisée de la morphologie de la marche et de l'activité musculaire lors des moments clé du mouvement. Ces données permettent d'identifier les perturbations des temps d'activation (phase, durée) et/ou de repos de muscles et/ou groupes musculaires au cours de la marche, en les comparant à la normale.

Enfin une analyse quantifiée de la marche peut être nécessaire. Cet examen validé (9, 10, 27, 40) permet l'enregistrement conjoint des données cinématiques, cinétiques et électromyographiques tout au long du cycle de marche. D'autres données peuvent y être couplées : mesure de la dépense énergétique, des variations de la pression plantaire.

L'AQM impose une connaissance de base de la marche normale. La pratique de la « lecture » de l'AQM modifie notre approche clinique par un « effet pédagogique » en apprenant à prendre en compte la composante dynamique de la marche à chaque niveau articulaire tout au long du cycle de marche et à l'intégrer dans nos stratégies thérapeutiques.

L'AQM permet :

Une description objective de la marche avec une analyse spatiale et temporelle des désordres complexes de la marche. Le croisement des données cinématiques, cinétiques et électromyographiques permet une interprétation aux différents niveaux articulaires (bassin, hanches, genoux, pieds) pour :

– identifier les anomalies primaires secondaires et tertiaires :
• anomalies primaires : liées directement à l'affection causale de la lésion cérébrale (principalement spasticité, co-contractions, contractions de repos, faiblesse et lenteur musculaire, manque de sélectivité de la commande…) ;
• anomalies secondaires : rétractions / distensions musculo-aponévrotique / déformations architecturales (principalement les troubles rotationnels mais aussi les dislocations articulaires…) ;
• anomalies tertiaires ou compensations qui permettent une meilleure efficience de la marche (par exemple, fauchage ou pas pelvien pour contrôler un « genou raide » ou un pied tombant);
– étayer l'argumentation d'une stratégie thérapeutique (ce sujet est développé dans le chapitre « rééducation et réadaptation » et dans les autres communications).

Une classification en groupe homogène :

– détermination de « *patterns* » de marche : hémiplégique (47), diplégique (32) ;

– plus récemment le développement d'index de marche observateur indépendant. Ainsi le Normalcy Index, ou Gillette Gait Index (34), a été développé.

La comparaison de données objectives entre deux examens successifs chez un enfant donné pour :

– apprécier les conséquences d'une thérapeutique. L'AQM est le corollaire indispensable dans l'évaluation des nouvelles approches thérapeutiques :
• de la spasticité : toxine botulique, pompe à baclofène, neurotomie et rhizotomie postérieure sélective ;
• en orthopédie : chirurgie multisite ;
• dans l'évaluation des différentes thérapeutiques rééducatives, appareillage… ;
– faire un suivi longitudinal des enfants, tout au long de leur croissance avant et après divers traitements, et des adultes (on connaît l'évolutivité des troubles neuro-orthopédiques à l'âge adulte).

En permanence ces différentes données sont confrontées à la clinique pour affiner l'approche diagnostique des différents désordres du cycle de marche.

La différenciation de ces désordres est indispensable pour :
– comprendre l'évolution naturelle des troubles neuromoteurs ;
– essayer de prévenir l'apparition des troubles secondaires chez le jeune enfant, qui doit être une priorité grâce à l'amélioration du traitement de la spasticité ;
– être plus efficace dans les corrections des anomalies secondaires.

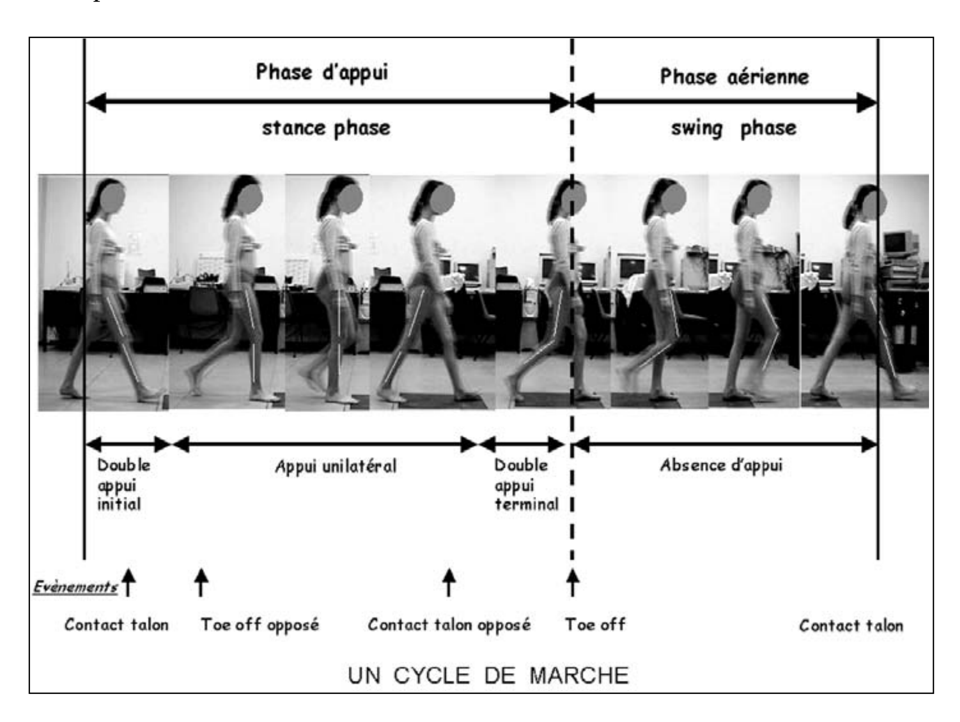


Fig. 1 - Analyse quantifiée du mouvement chez l'enfant IMC. *In* L'infirme moteur cérébral marchant. E. Viehweger, S. Scorsone-Pagny, M. Jacquemier, G. Bollini, 2005, Sauramps Médical, France.

AQM : outil à visée diagnostique

La validité de cet examen a été démontrée (9, 10, 27, 40).

Elle précise en un temps donné du cycle de marche et simultanément les différentes amplitudes articulaires hanches / genoux / chevilles et le positionnement du bassin, avec concomitamment l'analyse des contractions appropriées ou non des différents muscles et/ou groupes musculaires, des forces de réaction au sol (positionnement du vecteur force : compréhension des contraintes en flexion ou extension d'une articulation donnée).

Outil de mesure et de compréhension

Analyse vidéographique statique et dynamique

L'analyse vidéo est indispensable dans l'analyse clinique de la marche. Elle complète l'évaluation à l'œil nu. Isolée, elle a pour avantage d'être réalisable en routine à un coût peu élevé. Elle est possible à tous les âges (contrairement à l'AQM dont les très jeunes enfants ne peuvent bénéficier). Elle permet également de fixer définitivement un repère visuel de la marche d'un enfant à un moment donné (archivage vidéo dans le dossier patient). Cette « trace vidéo » est un élément de comparaison au cours de la croissance de l'enfant pour les professionnels, mais aussi pour l'enfant et sa famille (objectiver : une dégradation dans l'évolution naturelle, anomalies primaires vers anomalies secondaires / une amélioration après une thérapeutique donnée).

La réalisation de la vidéo de la marche tend à se protocoliser :
– caméra numérique, fixe (sans travelling) / station debout + marche (avec ou sans aide technique et/ou orthèse) ;
– filmée sur environ dix mètres de face, de dos et de profil droit et gauche.

L'analyse de la vidéo se fait au mieux en équipe (réunion multidisciplinaire : médecins, chirurgiens, rééducateurs…). Elle autorise des arrêts sur image, des zooms (par exemple : pieds en charge en statique), des ralentis permettant une analyse fine de tous les temps du cycle de marche.

La position debout au repos permet d'observer les possibilités posturales de l'enfant.

L'analyse du cycle de marche est faite :
– dans un plan sagittal : longueur et déroulement du pas – bassin (en antéversion ou rétroversion), hanches (flexion, extension), genoux (flessum, recurvatum), chevilles (flexion dorsale ou plantaire excessive) – griffe des orteils ;
– dans un plan frontal : élévation / rotation du bassin, rotation / abduction-adduction de hanche, genou valgum / varum, valgus ou varus de l'arrière pied, abductus ou adductus de l'avant pied, hallux valgus – angle de progression du pas.

Les limites de l'analyse sont liées à la « technique vidéo » : un temps d'acquisition vidéo insuffisant, un angle de vue incorrect (faux profil), ce qui occasionne des « trous » dans l'analyse des temps de la marche... Il peut ainsi manquer certains temps clés comme l'attaque du pas.

Différentes échelles cliniques fonctionnelles permettant l'analyse des temps clé du déroulement de la marche ont été validées en les comparant à l'analyse AQM. Leur sensibilité est médiocre : les observateurs ayant l'expérience de l'AQM sont plus performants – l'analyse des données bassin / hanche sont significativement moins bonnes. Les données genoux / pieds sont plus performantes, avec une différence marquée entre la phase d'appui et la phase oscillante.

Les différentes échelles sont :
- *PRS : Physicians Rating Scale* : échelle clinique validée pour les enfants avec « *cerebral palsy* » – échelle fonctionnelle quantifiée du membre inférieur adaptée au suivi et à l'évolution de la déambulation de l'enfant IMC. Elle est constituée de huit items dont six décrivent les moments clé du déroulement de la marche ;
- *Edinburg Visual Gait Score* (30) : échelle clinique validée pour les enfants avec « *cerebral palsy* » ;
- *Observational Gait Scale* (19) : échelle validée pour les enfants avec diplégie spastique.

Analyses des données cinématiques

Les données cinématiques concernent l'étude des positions, trajectoires et vitesses des mouvements des segments de membres et articulations. Les données sont recueillies grâce à plusieurs caméras avec repérage par infrarouges qui captent le mouvement dans les trois plans de l'espace des marqueurs placés sur l'enfant.

Elles recueillent :
- des données spatio-temporales : vitesse de marche – longueur du pas, cadence –, temps de simple et double appui, qui définissent le cycle de marche de l'enfant ;
- des données segmentaires, permettant de connaître les amplitudes articulaires et les vitesses angulaires dans les trois plans pour chacune des articulations. On peut ainsi à chaque moment du cycle avoir des données objectives, les comparer à la normale et à l'examen clinique.

Analyse des données électromyographiques (et EMG-Vidéo)

Les données électromyographiques recueillent l'activité musculaire par électrodes de surface (les « *fine wire* », très fines électrodes implantées dans le corps musculaire sont peu utilisées en pratique courante, réservées aux muscles profonds : *ilio-psoas*, *tibialis posterior*, ou quand l'enregistrement de surface est perturbé par l'activité de muscles adjacents : *rectus femoris* et *vastus*). Ces enregistrements permettent de préciser au cours d'un cycle de marche la présence d'une activité musculaire phasique ou pas, ainsi que la durée de l'activité d'un muscle ou d'un groupe musculaire et de la comparer à l'activité musculaire normale. On peut distinguer : une activité normale d'une activité anormale (permanente / prématurée / prolongée) en lien avec une situation biomécanique anormale (par exemple : le vecteur force en arrière du genou en phase d'appui entraîne obligatoirement une flexion de genou qui oblige à une activité anormale du quadriceps), ou d'une activité anormale intrinsèque (spasticité, co-contraction, co-activation, activation exagérée des projections hétéronymes…).

Les études métrologiques d'EMG-Vidéo ont montré une validité, une fiabilité et une sensibilité satisfaisantes (5, 21, 41).

Analyse des données cinétiques

Les données cinétiques étudient les forces et puissances mises en jeu lors du mouvement. Elles sont recueillies lors du passage sur des plates-formes de force intégrées sous le couloir de marche. La plate-forme de force calcule la direction et l'intensité du vecteur de réaction au sol, vecteur opposé en intensité et en direction à la force exercée par le sujet dans les trois plans de l'espace. Par calcul mathématique, on obtient les moments exercés sur chaque articulation et les puissances développées ou absorbées par les groupes musculaires.

L'activité musculaire excentrique correspond à une puissance absorbée ou de freinage – l'activité musculaire concentrique correspond à une puissance générée ou d'accélération.

Outil de mesure et de classification

L'analyse des séries de patients ayant des *patterns* de marche similaires dans le plan sagittal à partir des données cinématiques a permis d'établir des classifications.

Classification de la marche chez l'hémiplégique

En 1987, Winter *et al.* (47) ont proposé une classification en quatre types d'atteinte croissante chez l'hémiplégique spastique, allant du type 1 le plus faible au type 4 le plus sévère.

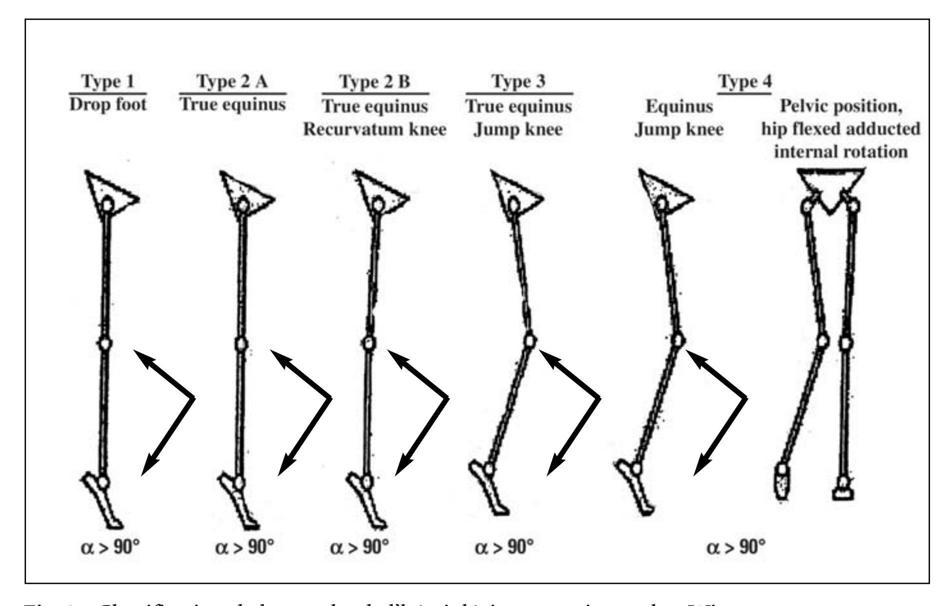


Fig. 2 - Classification de la marche de l'hémiplégique spastique selon Winters.

– Le type 1 est caractérisé par un défaut de flexion dorsale de cheville en phase oscillante causée par une faiblesse ou une diminution de l'activité du *tibialis anterior* avec une prédominance de l'activité des *gastrocnemii.*

L'attaque du pas se fait pied à plat ou sur la pointe du pied. Le premier pivot talonnier est absent. Il n'y a pas de limitation de la flexion dorsale en phase d'appui.

Les compensations de la marche dans ce groupe peuvent être :

• l'augmentation de la flexion du genou en fin de phase oscillante à l'attaque du pas et à la mise en charge ;

• une flexion excessive de la hanche en phase oscillante et une augmentation de l'antéversion du bassin.

Ce groupe d'individus a un bon contrôle volontaire de la hanche et du genou mais pas de la cheville.

– Le type 2 « *true equinus* » est caractérisé par une flexion plantaire de cheville en phase d'appui.

À la différence des sujets de type 1 qui ont une longueur normale du *triceps surae*, les individus de type 2 ont une rétraction du *triceps surae* et/ou du *tibialis posterior* ou du *flexor digitorum longus.* Les principaux muscles impliqués sont *gastrocnemii* et *tibialis posterior.*

• 2 A *true equinus :* genou normal et hanche en extension (la cheville est en flexion plantaire variable pendant la phase oscillante) ;

• 2 B *true equinus :* genou *recurvatum* et hanche en extension (le couple flexion plantaire de cheville / extension de genou est trop actif – le second pivot est arrêté prématurément avec pour effet l'hyperextension du genou en phase d'appui).

– Le type 3 « *true equinus / jump knee* » (plus ou moins *stiff knee*).

En plus des anomalies de marche des patients de type 2, ce groupe manifeste une flexion insuffisante du genou en phase oscillante.

L'hémiplégique de type 3 est gêné lors du passage du pas en phase oscillante et compense habituellement en montant sur le pied controlatéral ou en fauchant du côté hémiplégique. La cinématique, dans le plan sagittal, montre une flexion excessive de la hanche et une antéversion du bassin avec une augmentation de la lordose lombaire (mécanisme compensateur).

Ce groupe d'individus possède un bon contrôle volontaire de la hanche, mais pas du genou ni de la cheville.

L'analyse de la marche révèle des anomalies similaires aux sujets de type 2 au niveau de la cheville, associées à des co-contractions des ischio-jambiers et du *rectus femoris* au niveau du genou. Ainsi, les muscles principaux impliqués dans ce modèle sont les ischio-jambiers, le *rectus femoris* et les *gastrocnemii.* Ce sont tous des muscles bi-articulaires.

– Le type 4 possède toutes les caractéristiques du groupe de type 3 avec un déficit au niveau de la hanche : atteinte des fléchisseurs et des adducteurs de hanche.

Ces sujets présentent une flexion plantaire de cheville en phase oscillante et en phase d'appui, une diminution de l'amplitude des mouvements du genou, « genou fléchi et raide », ainsi qu'une adduction / rotation interne et une flexion de la hanche.

La limitation du mouvement au niveau de la hanche est compensée par l'augmentation de la lordose lombaire en fin de phase d'appui. C'est le modèle d'atteinte le plus sévère.

Comme pour les sujets de type 3, la plupart des muscles atteints sont bi-articulaires : *ilio-psoas*, ischio-jambiers, *rectus femoris*, *gastrocnemii*.

Classification de la marche chez le diplégique spastique

En 1986, Range, Silver et De La Garza avaient décrit des *patterns* de marche dans un plan sagittal. En 1993, Sutherland et Davids (40) ont décrit quatre types d'anomalies de la marche à partir du positionnement du genou en milieu d'appui et en phase oscillante:

– *Jump knee :* augmentation de la flexion de genou en fin de phase oscillante et en début de phase d'appui ;
– *Crouch knee :* augmentation de la flexion de genou tout au long de la phase d'appui ;
– *Recurvatum knee :* augmentation de l'extension de genou en milieu et en fin de phase d'appui ;
– *Stiff knee :* flexion insuffisante ou retardée du genou pendant la phase oscillante (le « *stiff knee* » peut être associé aux autres classifications de la phase d'appui, par exemple : *stiff knee* et *crouch knee* ou *stiff knee* et *jump knee*).

Miller *et al.* puis Rodda (32) ont proposé une classification des *patterns* de marche dans un plan sagittal en considérant l'ensemble bassin, hanches, genoux, chevilles et en introduisant une notion d'évolutivité.

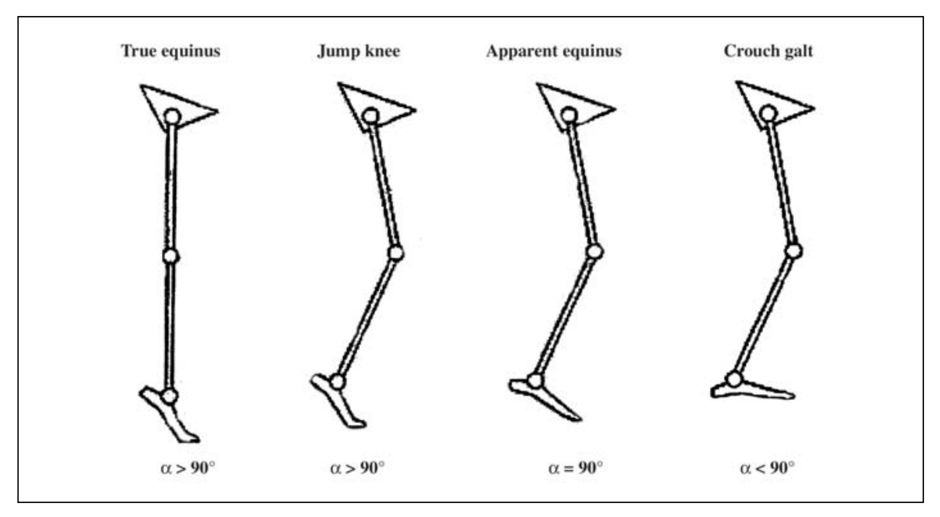


Fig. 3 - Classification de la marche du diplégique spastique selon Rodda et Graham (2001 / 2004).

– *True equinus :* la cheville est en flexion plantaire excessive avec un angle tibio-tarsien toujours supérieur à 90°, le genou est en extension ou en discret recurvatum, la hanche est étendue et le bassin est en position normale ou antéversé ;

– *Jump gait* (plus ou moins *stiff knee*) : le pied est en flexion plantaire excessive avec un angle tibio-tarsien toujours supérieur à 90° en particulier en fin d’appui ; hanches et genoux sont en flexion excessive en fin de phase oscillante et pendant la phase précoce de l’appui ; hanches et genoux peuvent s’étendre à des degrés variables en fin d’appui mais ne vont jamais jusqu’à l’extension. Le bassin est normal ou antéversé avec hyperlordose lombaire ;
– *Apparent equinus* (plus ou moins *stiff knee*) : la cheville est normale, hanche et genou sont en flexion excessive tout au long de la phase d’appui, le bassin est normal ou antéversé ;
– *Crouch gait* (plus ou moins *stiff knee*) : la cheville est en dorsi-flexion excessive tout au long de la phase d’appui, genoux et hanches sont en flexion excessive, le bassin est normal ou rétroversé ;
– *Asymetric gait :* la marche est asymétrique et différents niveaux d’anomalies coexistent à droite et à gauche.

Les *patterns* de marche « *true equinus* » et « *jump gait* » sont les plus communs chez les jeunes enfants qui commencent à avoir une marche autonome indépendante.

L’évolution naturelle serait le passage vers l’*apparent equinus* puis le *crouch gait* (28).

Le *stiff knee* et la réduction de la vitesse de marche sont des éléments communs dans le *jump gait* et le *crouch gait.*

L’évolution des *patterns* de marche montre une modification des désordres musculaires du distal vers le proximal. La faiblesse musculaire est très importante dans la détermination finale des *patterns* de marche. Les *patterns* de marche résultent des désordres des co-contractions musculaires dans un plan sagittal à différents niveaux articulaires :
– dans l’équin vrai, la spasticité du *triceps surae* est dominante ;
– dans le *crouch gait*, le *triceps surae* est allongé / faible, les ischio-jambiers et l’*ilio-psoas* sont spastiques et/ou contractés de façon dominante.

Les couples agonistes / antagonistes (flexion plantaire / extension de genou dans l’équin vrai par exemple) et les forces de réaction au sol (vecteur force en avant du genou dans l’équin vrai / en arrière du genou dans le *crouch gait*) modifient les *patterns* de marche et doivent être pris en compte dans les stratégies thérapeutiques (vis-à-vis de la spasticité, des rétractions et dans les prescriptions d’orthèse…).

Les limites de ces classifications sont l’absence de démarcation dans les variations des *patterns* (il y a un continuum dans les déformations) et une non-prise en considération des déformations dans un plan frontal.

Outil de mesure et d’évaluation

Le *Normalcy Index* (ou *Gillette Gait Index* [23, 34]) permet de quantifier le pourcentage de déviation de la marche d’un sujet donné par rapport à une « marche type » d’un laboratoire de marche. Chaque laboratoire a sa propre référence. Il est constitué de seize variables cinématiques (choisies par un collège de cliniciens parmi de nombreuses variables). Elles sont utilisées pour constituer une seule variable qui mesure l’écart de la marche d’un patient donné par rapport à la marche de référence. Il permet de quantifier la marche d’une personne donnée (normale, hémiplégique, diplégique, quadriplé-

gique) par rapport à une « marche de référence » du laboratoire d'analyse de marche et de mesurer son évolution, l'impact des thérapeutiques réalisées.

L'index est observateur indépendant. Il est valide, sensible, fiable. Il est corrélé avec la consommation en énergie et la sévérité des déficiences et incapacités (22). Il existe des corrélations entre AQM et EMFG (7).

Outil de mesure : les limites

La vidéo est toujours possible. Les contre-indications et/ou non-indications à l'EMG-Vidéo et plus particulièrement à l'AQM sont principalement l'impossibilité d'une marche « autonome » (reproductible, savoir marcher droit, endurance…) et l'absence de coopération. La prépondérance de troubles dystoniques et/ou cérébelleux rend l'interprétation des résultats plus difficiles.

AQM : outil d'évaluation et de suivi de rééducation et de réadaptation

L'enfant est un être en développement. Il est indispensable de repérer les différentes anomalies primaires, secondaires et tertiaires : anomalies prédictives d'une détérioration progressive et inéluctable de la marche. Il faut prioritairement développer des thérapeutiques préventives, des actions ciblées précoces pour éviter l'apparition des anomalies secondaires. La différenciation de ces anomalies est primordiale afin d'éviter de porter atteinte aux compensations et agir, par nos traitements rééducatifs, sur les anomalies primaires et secondaires.

La confrontation des différentes évaluations amène à améliorer l'analyse et à reconsidérer les pratiques de rééducation et de réadaptation chez les IMC marchants / déambulants. L'interprétation suit un ordre logique :
– regarder l'enfant marcher, l'examiner cliniquement, regarder la vidéo et les courbes obtenues par EMG-Vidéo ou AQM ;
– essayer de comprendre pourquoi le mouvement est anormal ;
– en déduire une stratégie thérapeutique.

Les données et les hypothèses qui en découlent sont en permanence analysées, confrontées, discutées en équipes multidisciplinaires et mis en corrélation avec les données de l'examen clinique et de l'AQM. On classe, décode, traite les différentes anomalies constatées.

Les objectifs et les moyens rééducatifs prennent en compte, en plus de l'examen analytique et fonctionnel :
– les critères de Gage (9) : critères d'une marche efficiente avec :
• bon prépositionnement du pied à l'attaque du pas ;
• stabilité lors de l'appui ;
• liberté de pas en phase oscillante ;
• longueur de pas suffisante ;

• conservation de l’énergie ;
– l’analyse sémiologique en anomalies primaire, secondaire, tertiaire.
– les *patterns* de marche.

L’ensemble de ces données détermine les moyens et les objectifs du programme de rééducation et de réadaptation :
– techniques de rééducation spécifiques et globales ;
– orthèses / aides techniques.

Sans pouvoir être exhaustif, nous allons essayer de présenter les principaux points de rééducation et de réadaptation, les techniques de rééducation, appareillages / aides techniques qui découlent de la convergence de ces différentes analyses.

La rééducation peut être isolée (rarement) ou venir en complément (le plus souvent) des autres thérapeutiques, en particulier le traitement local ou général de la spasticité et le traitement orthopédique fonctionnel.

Anomalies primaires

Parmi les anomalies primaires, on retrouve des déséquilibres musculaires avec des muscles trop actifs et/ou des diffusions de contractions à l’activité, en opposition avec des muscles faibles. La commande motrice est souvent déficitaire avec un gradient croissant proximo-distal (déficit plus important au niveau distal) associée à un manque de sélectivité, une lenteur.

Les muscles actifs en excès sont le plus souvent :
– au niveau de la cheville : *triceps surae* (*soleus* et *gastrocnemius*), *tibialis anterior*, *tibialis posterior* ;
– au niveau du genou : *quadriceps femoris* dont le *rectus femoris*, ischio-jambiers ;
– au niveau de la hanche : *ilio-psoas* et adducteurs.

Les traitements rééducatifs ciblent le maintien des longueurs musculaires des muscles spécifiques, le renforcement des muscles faibles et une rééducation fonctionnelle de la posture et du mouvement.

Maintien des longueurs musculaires des muscles spécifiques

L’AQM apporte un regard dynamique qui complète les données statiques déjà connues et permet, en reliant les deux, d’être plus spécifique sur les muscles à étirer qui entravent la marche : elle souligne par exemple le rôle du muscle *gracilis* dans la limitation de la longueur du pas.

Les traitements rééducatifs privilégient les assouplissements et les étirements manuels en association avec les traitements médicaux (médicaments par voie générale ou infiltration de toxine botulique locale, à privilégier chez les jeunes enfants), ou chirurgicaux (neurectomie sélective partielle chez les enfants plus âgés).

Renforcement des muscles faibles

Lors de l'analyse des courbes, la détection de conséquences fonctionnelles de la faiblesse de certains muscles va orienter le traitement rééducatif vers le renforcement spécifique de ces muscles ou groupes musculaires.

Les muscles antagonistes sont le plus souvent faibles. La faiblesse de contractilité est aussi liée pour une part à un manque d'entraînement et de contractions dans une course totale du fait de la prédominance des muscles agonistes. La rééducation vise à renforcer ces groupes musculaires en les stimulant dans des positions de facilitation (renforcement des releveurs des pieds genoux fléchis), puis en augmentant progressivement les contraintes (mise en tension des *gastrocnemii* par extension du genou, travail en position antigravidique). Le plus souvent, les groupes musculaires à renforcer sont les releveurs des pieds, les éverseurs ou les inverseurs, le *quadriceps femoris* en course interne pour le verrouillage du genou, mais également les *gluteus medius* pour la stabilisation du bassin dans le plan frontal ainsi que les *gluteus maximus* et les abdominaux pour lutter contre l'antéversion excessive du bassin. Les ischio-jambiers sont fréquemment utilisés comme extenseurs de hanche lorsque les *gluteus maximus* sont déficients et peuvent paraître trop contractés et/ou rétractés tout en étant également faibles.

Aux techniques de renforcement musculaire classiques peuvent être associées des techniques d'électrostimulation neuromotrice permettant à l'enfant de ressentir une contraction musculaire.

Les premières études rapportant l'utilisation des techniques d'électrostimulation datent de 1986 (18).

Une technique d'électrostimulation neuromotrice utilisée dans les pays anglo-saxons depuis une douzaine d'années est appelée NMES ou *neuromuscular electrical stimulation.* Hazlewood *et al.* (12) ont rapporté une augmentation de la force musculaire après une stimulation du *tibialis anterior* une heure par jour et pendant 35 jours, ainsi qu'une augmentation de l'amplitude passive et active de la cheville. Park *et al.* (26) ont noté une amélioration de la statique du tronc en position assise chez de jeunes enfants diplégiques, après avoir stimulé les abdominaux et les muscles lombaires 30 minutes par jour, 6 jours par semaine, pendant 6 semaines. Judy Carminck (3, 4) a mis en évidence une amélioration de la statique du pied, de l'équilibre et de la marche après une stimulation électrique du triceps surae chez des enfants IMC, sans augmentation de la spasticité, en partant du principe que la faiblesse du *triceps surae*, principal muscle de la posture, était à la source du déséquilibre fonctionnel. Claire Kerr *et al.* (14, 15) décrivent cette technique comme un traitement alternatif passif, non invasif, intéressant chez des enfants qui ont une commande motrice déficiente, permettant un gain de force et de fonction motrice.

Il consiste en l'application d'un courant électrique alternatif, d'une intensité suffisante pour produire une contraction musculaire. Ce courant est appliqué par l'intermédiaire de deux électrodes placées sur la peau, en regard du muscle ou du groupe musculaire visé. Le renforcement peut être expliqué par :
– le recrutement d'un nombre supérieur d'unité motrice ;
– le recrutement plus sélectif de fibres rapides de type II, d'un diamètre plus large.

Il peut être appliqué de manière passive ou fonctionnelle en demandant un travail actif de l'enfant quand la contraction survient. L'augmentation de l'intensité du courant est progressive pour amener au déclenchement de la contraction musculaire. Elle est accompagnée d'explications verbales, rassurantes, ludiques et imagées (sensations de petites fourmis).

On doit veiller à ne pas trop augmenter l'intensité pour un muscle faible car, au-delà d'un certain seuil, on obtient l'effet inverse par diffusion aux muscles antagonistes. De plus, une intensité trop élevée peut provoquer des douleurs.

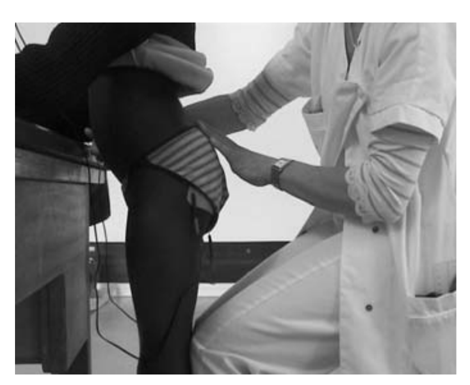


Fig. 4 - Avant la contraction du *gluteus maximus.*



Fig. 5 - Pendant la contraction avec une participation active en rétroversion du bassin.

Une autre approche d'électrostimulation, la TES (appelée *therapeutic electrical stimulation* puis *threshold electrical stimulation*), a été décrite par Pape *et al.* (24, 25). Elle consiste en une stimulation neuromotrice légère, ne déclenchant pas de contraction et n'entraînant pas d'inconfort, lui permettant d'être appliquée la nuit pendant le sommeil. Cette technique n'est pas utilisée dans notre pratique.

D'autres études n'ont pas pu démontrer de résultats significatifs (Kerr *et al.* [14], Van der Linden *et al.* [46]).

Rééducation fonctionnelle de la posture et du mouvement

L'analyse segmentaire a laissé place à une analyse dynamique et globale dans les trois plans de l'espace, modifiant notre traitement rééducatif dans ce sens.

Les exercices plus spécifiques sont :

– travail de chaînes musculaires spécifiques : association de l'extension du genou et des releveurs des pieds ;
– rétroversion du bassin dans différentes positions, associée à la respiration (assis, debout, genou dressé où la mise en tension du droit fémoral accentue la tendance à l'antéversion) ;
– dissociation des ceintures ;
– adaptations posturales et d'équilibration : réactions adaptées aux déséquilibres imprimés, anticipation, rapidité de la réponse ;
– marche : la rééducation à la phase de l'attaque du pas s'orientera vers une extension complète de genou, une attaque du pas par le talon et une longueur de pas suffisante. Une bonne stabilité lors de l'appui sera obtenue par le renforcement de la chaîne anti-gravitaire avec un bon verrouillage du genou. En phase oscillante, une gêne courante est due au manque ou au retard de flexion de genou, dû à l'activité permanente du *rectus femoris.*

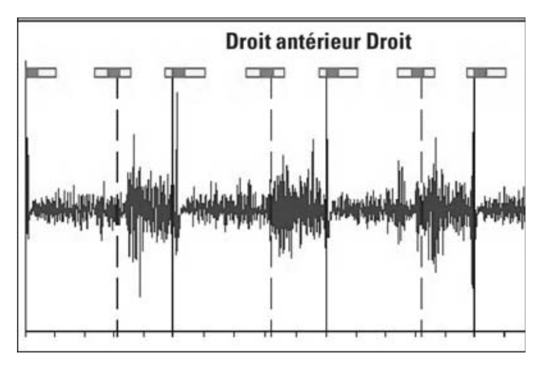


Fig. 6 - EMG du *rectus femoris.*

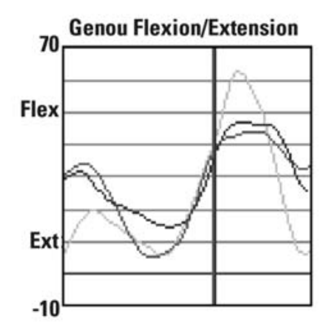


Fig. 7 - Courbe cinématique du genou.

La gêne occasionnée par le *rectus femoris* peut être diminuée par une infiltration de toxine botulique ou une intervention chirurgicale. La rééducation veillera à renforcer les fléchisseurs du genou. Le passage d'obstacles entraîne l'enfant à augmenter sa flexion de genou en phase oscillante. Une marche trop lente peut être à l'origine d'un défaut de flexion de genou en phase oscillante.

La deuxième cause de gêne en phase oscillante est la faiblesse des releveurs des pieds et/ou l'hyperactivité du *triceps surae* en fin de phase oscillante. La rééducation renforcera les releveurs du pied et s'associera à la mise en place d'une attelle postérieure maintenant passivement la tibiotarsienne à 90°.

Un autre versant de la rééducation des anomalies primaires consiste en la mise en place d'appareillages. Différents types d'attelles permettent de pallier les déficiences musculaires (45) :

– les attelles postérieures mollet-plante : elles sont surtout indiquées pour pallier aux déséquilibres musculaires des groupes agonistes / antagonistes. On peut les classer en deux sous-groupes :

• attelles limitant les conséquences de l'hyperactivité du *triceps surae* : semi-rigides ou articulées avec butée anti-équin ;

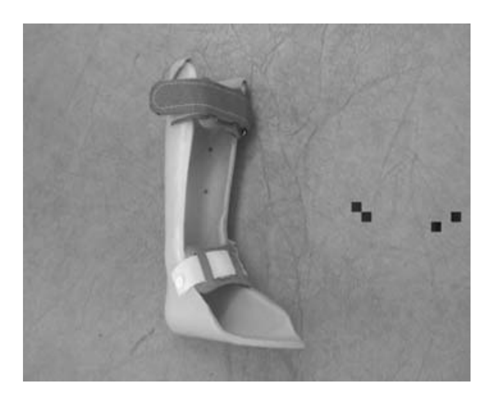


Fig. 8 - Exemple d'attelle postérieure.

• attelles facilitant l'activité des releveurs : rétro-malléolaires, avec rappel élastique ou Gillette ;



Fig. 9 - Attelles releveuses.

– les attelles antérieures cheville-pied : rigides non articulées, semi-rigides, souples, articulées ou encore antéro-postérieures. Elles ont toutes comme objectif principal d'aider le *quadriceps femoris* vers le verrouillage du genou à l'appui, talon au sol, et d'améliorer la qualité du milieu d'appui. Elles s'utilisent majoritairement dans la marche en « *crouch gait* » ;



Fig. 10 - Exemples d'attelles antérieures.

– l'orthèse latérale : elle est indiquée dans le pied varus actif prédominant sur l'équin ;
– l'orthèse cruro-pédieuse : utilisée dans le cas de faiblesse musculaire des membres inférieurs évoluant vers des rétractions. Elle permet le verrouillage passif du genou à la marche. Dans notre pratique, on l'utilise essentiellement en postopératoire.

Des études comparatives d'utilisation de certains de ces appareillages ont été réalisées grâce à l'AQM, en Suisse et aux États-Unis notamment (2, 33, 29) :
– chez des patients IMC avec un tableau d'hémiplégie, présentant comme trouble à la marche une flexion plantaire excessive et un contact initial du pied au sol par les orteils, il s'avère qu'une attelle mollet-plante postérieure articulée avec une flexion plantaire bloquée à 0° est plus efficace qu'une attelle mollet-plante dynamique. L'AQM montre que l'attelle articulée permet une marche pied à plat, réduit l'absorption de puissance et augmente la longueur du pas ;
– chez des patients IMC présentant un tableau spastique et marchant avec une flexion plantaire excessive en phase d'appui, on constate grâce à l'AQM que l'attelle pied-cheville dynamique qui bloque la flexion plantaire et l'attelle pied-cheville rigide ont les mêmes résultats. C'est-à-dire qu'elles augmentent la longueur du pas, diminuent la cadence et réduisent l'excès de flexion plantaire, comparé à la marche sans attelle ;
– chez des patients IMC diplégiques spastiques, trois attelles cheville-pied (une rigide, une articulée et la dernière à ressort) ont été comparées par AQM. Elles ont permis de normaliser la cinématique de la cheville à l'appui, d'augmenter la longueur du pas et de diminuer la cadence ainsi que la consommation d'énergie dans la marche. Fonctionnellement, chaque attelle améliore la vitesse et l'efficacité de la marche, de la course et du saut. Cependant, de moins bons résultats fonctionnels ont été enregistrés avec l'attelle articulée puisqu'on retrouve une augmentation du pic de moment

d’extension du genou en début d’appui, une flexion dorsale excessive et une diminution moindre de la consommation d’énergie.

Anomalies secondaires

Les causes secondaires sont les rétractions / distensions musculo-aponévrotiques et les déformations architecturales (antétorsions fémorales, torsions tibiales internes ou externes, déformations du pied).

Le traitement rééducatif peut les limiter par des étirements réguliers ainsi que l’installation d’appareillages et de postures.

Étirements

Les étirements musculaires manuels sont facilités par des techniques de décontractions automatiques, des positions de facilitations ou de décontraction (16, 43).

Postures

Des temps de posture spécifiques de différents groupes musculaires peuvent être mis en place de façon régulière et alternée. Par exemple :
– les ischio-jambiers sont habituellement posturés en position assise jambes tendues (fig. 11) ;

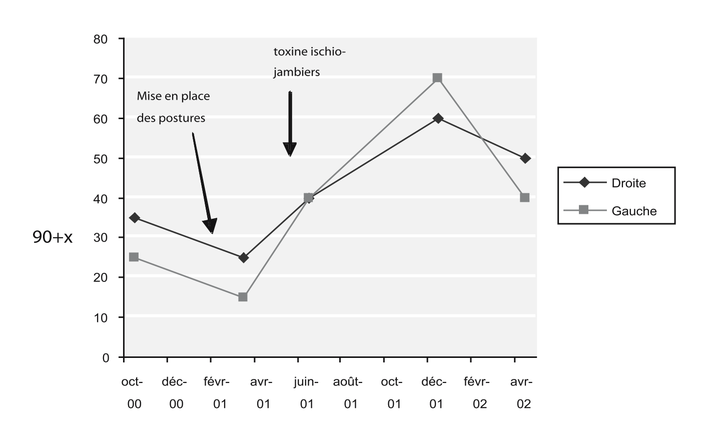


Fig. 11 - Évolution de l’angle poplité.

– les *ilio-psoas* sont souvent posturés en décubitus ventral, sur chariot plat avec une sangle de bassin ;
– les *gracilis* sont plus facilement posturés la nuit grâce à un matelas taillé en abduction (40-42) ;
– les *triceps surae* sont aussi posturés de préférence la nuit lorsque l’enfant est au repos et que les contractions basales s’estompent. On utilise alors des bottes qui doivent être portées durant 6 heures au moins pour être efficaces selon Lespargot (42, 44).

Des plâtres d'étirements successifs peuvent être faits afin d'améliorer l'amplitude d'un *triceps surae* rétracté, ce qui permet au muscle une adaptation physiologique à sa nouvelle longueur par une augmentation du nombre de sarcomères, selon des études de Tardieu et de Tabary *et al.* (43). Plus l'enfant est jeune, plus cette technique est efficace. Ces plâtres d'étirement successifs font souvent suite à des injections de toxine.

Il est important de maintenir la souplesse du rachis ce qui est favorisé par des positions assis-plage. On réalise aussi des installations assises par corset-siège en déflexion de hanche et/ou siège-selle, induisant une correction de l'attitude posturale en rétroversion de bassin et cyphose dorso-lombaire.

Appareillages

L'appareillage essaye de corriger les déformations avec, par exemple (45) :
– un dérotateur souple, utilisé en complément d'un traitement focal par toxine botulique par certaines équipes. Il tend à corriger les troubles rotationnels aux membres inférieurs, qu'ils soient de cause haute fémorale, de cause basse tibiale ou de cause mixte. La plus fréquente est une rotation fémorale interne associée à une rotation tibiale externe. Le dérotateur souple est davantage utilisé chez le très jeune IMC afin d'induire une mobilité normale ;
– des coques moulées, limitant les déformations passives de l'arrière-pied en valgus ou varus ;
– des semelles orthopédiques, cherchant à recréer une voûte plantaire ;
– des chaussures orthopédiques, essentiellement utilisées sur des pieds instables et associées ou non aux coques ou semelles.

Anomalies tertiaires ou compensations

Les compensations, appelées « *coping responses* » par les Anglo-saxons, sont utilisées pour contourner les gênes fonctionnelles dues aux anomalies primaires et secondaires.

Les anomalies I et II ont tendance à être plus prononcées au niveau distal (contrôle moteur plus déficient) chez l'IMC marchant / déambulant, les compensations sont plutôt proximales, partant de la hanche ou du tronc et du coté ayant le meilleur contrôle moteur.

Certaines compensations types peuvent se retrouver, et permettent :
– une meilleure stabilité à l'appui :
• l'inclinaison latérale du tronc déplace le centre de gravité du corps au dessus de la hanche d'appui ;
• l'activité des *quadriceps femoris* prévient l'effondrement du corps, luttant contre la pesanteur lorsque le vecteur force se retrouve en arrière du genou en milieu et fin d'appui, et ce d'autant plus qu'il est loin en arrière du genou ;
• l'activité des *gluteus* et des ischio-jambiers lutte contre l'antéversion et la salutation du tronc en avant, en phase d'appui.
– une liberté du passage du pas en phase oscillante :
• hyperflexion de la hanche et du genou ;

• fauchage ;
• passage sur la pointe du pied côté controlatéral (décollement précoce du talon du côté sain chez le sujet hémiplégique).
– un allongement de la longueur du pas :
• rotation du bassin permettant une avancée plus importante de l'hémibassin homolatéral du membre inférieur oscillant ;
• asymétrie de rotation du bassin dans le plan transverse, compensée par une abduction d'un côté et une adduction de l'autre dans le plan frontal ;
• diminution de mouvement dans le plan sagittal, compensée par une augmentation de mouvement dans le plan transverse par une rotation du bassin.

Ces compensations ne doivent pas être considérées comme des troubles mais comme des conséquences d'anomalies, permettant une fonction optimale.

Conclusion

L'AQM nous amène à améliorer nos connaissances du versant dynamique de la marche normale et pathologique et à l'intégrer dans nos évaluations et décisions thérapeutiques. L'ensemble des données de la littérature montre que la variance de la marche est mieux expliquée par des modèles combinés de mesures statiques et dynamiques. Les paramètres cliniques restent des éléments de référence mais ont une grande variabilité. En lien avec d'autres paramètres, l'AQM doit permettre de progresser dans la modélisation de la marche normale et pathologique (simulations de la marche de sujets hémiplégiques). Des modèles permettant de prédire l'évolutivité et l'effet d'un traitement sont en cours de développement. De nouveaux concepts de rééducation restent à explorer.

La mise en place de protocoles d'évaluation rigoureux doit être associée à l'évolution de toutes les techniques rééducatives.

L'AQM fait partie d'une démarche thérapeutique « raisonnée » qui s'inscrit dans un protocole d'analyse clinique classique, en association à des outils validés.
Les échanges pluridisciplinaires favorisent :
– l'amélioration de nos connaissances cliniques;
– la mise en place de protocoles dans le cadre de réseaux de soins, sous l'égide de sociétés savantes (GCMAS : *Gait and Clinical Movement Analysis Society* / ESMAC : *European Society for Movement Analysis in Adults and Children* / GAMEA : Groupe d'analyse du mouvement chez l'enfant et l'adulte).

L'enfant, la famille et les professionnels doivent être étroitement liés et impliqués dans cette démarche évaluative destiné à déterminer des objectifs. Cette approche plurielle est le meilleur garant d'une satisfaction.

Références

1. Boyd RN, Graham HK (1999) Objective mesasument of clinical findings in the use of botulinum toxin type A for the management of children with cerebral palsy. Europ J Neurol, 6 (sup 4)

2. Buckon CE, Thomas SS, Jakobson-Huston S *et al.* (2004) Comparison of three ankle-foot orthosis configurations for children with spastic diplegia. Dev Med Child Neurol, 46(9): 590-8
3. Carmick J (1995) Managing equinus in children with cerbral palsy: electrical stimulation to strengthen the triceps surae muscle. Dev Med Child Neurol, 37: 965-75
4. Carmick J (2002) Letters to the editor. Dev Med Child Neurol, 44: 212
5. Chen CL (2003) Correlation of polyelectromyographic patternes and clinical motor manifestations in children with cerebral palsy. Am J Phys Med Rehabil, 82: 62735
6. Cristol, Bérard C (1998) Évaluation fonctionnelle de la marche par l'index de dépense énergétique. Valeurs de référence chez l'enfant. Ann Réadap Med Phys, 41: 429-33
7. Damiano DL, Abel MF (1996) Relation of gait analysis to gross motor function in cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 38: 389-96
8. Fusco N, Nicolas G, Multon F *et al.* (2005) Simulation de la marche de sujets hémiplégiques. Journées d'Analyse du Mouvement des Utilisateurs Vicon, Le Mans, p 15
9. Gage JR (1983) Gait analysis for decision making in cerebral palsy, Bull Hosp Joint Dis, 43: 147-63
10. Gage JR *et al.* (1984) Pré and post-operative gait analysis in patient with spastic diplegia : a preliminary report, JPO, 715-25
11. Greene WB, Heckman JD (1994) The clinical measurement of joint motion. American Academy of Orthopaedic Surgeons. Rosemont, Illinois
12. Hazlewood ME, Brown JK, Rowe PJ *et al.* (1994) The use of therapeutic electrical stimulation in the treatement of hemiplegic cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 36: 661-73
13. Hodgkinson I, Barriere A, Lesage C (2001) Postures de nuit chez l'enfant IMC. journal d'orthopédie, 481-3
14. Kerr C, MC Dowell B, MC Donough S *et al.* (2003) Electrical stimulation for strengthening quadriceps femoris in children with cerebral palsy. ESMAC Congress, 2003.
15. Kerr C, MC Dowell B, MC Donough S (2004) Electrical stimulation in cerebral palsy : a review of effects on strength and motor function. Dev Med Child Neurol, 46: 205-13
16. Le Metayer M (1993) Rééducation cérébro-motrice du jeune enfant : éducation thérapeutique, ed. Masson
17. Lespargot A, Renaudin E, Khouri N *et al.* (1974) Extensibility of hip adductors in children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 6(11): 980-8
18. Lieber RL (1986) Skeletal muscle adaptability. III : Muscle properties following chronic electrical stimulation. Dev Med Child Neurol, 28: 662-70
19. Mackey AH, Lobb GL, Walt SE *et al.* (2003) Reliability and validity of the observational Gait scale in children with spastic diplegia. Dev Med Child, 45: 1: 4-11
20. Metton G, Hodkinson I, Bérard C (1998) Évaluation motrice fonctionnel globale : présentation de l'échelle et application à l'enfant diplégique spastique. Progrès en médecine physique et réadaptation, In Masson Ed, Paris, 461-5
21. Noona KL (2003) Interobserver variability of gait analysis in patients with cerebral palsy. J Ped Orthop, 2003: 23: 279-87
22. Novacheck TF, Schwartz M (2004) Functional assessment of outcomes. In The treatment of gait problems in cerebral palsy. Clin In Develop Med, 406-22
23. Novacheck TF, Stout JL, Tervo R (2000) Reliability and validity of the Gillette functional assessment questionnaire as an outcome measure in children with walking disabilities. Journal Pediatric Orthop, 20: 75-81

24 Pape KE (1997) Therapeutic electrical stimulation (TES) for the treatement of disuse muscle atrophy in cerebral palsy. Pediatr Phys Ther, 9: 110-2
25. Pape KE, Kirsch SE, Bugaresti JM (1990) New therapies in spastic cerebral palsy. Contemp Pediatr, 3: 6-13
26. Park ES, Pak CI, Lee HJ *et al.* (2001) The effect of electrical stimulation on the trunk control in young children with spastic cerebral palsy. J Korean Mes Sci, 16: 347-50
27. Perry J *et al.* (1976) Surgery for hip deformity in children with cerebral palsy. Electromyography before and after JBJS, Am, 58, 201-8
28. Rab GT (1982) Diplegic gait is there more than spasticity ? In : Sussman Ed, The diplegic child, Rosemont, American Academy of orthopaedic surgeons: 99-110
29. Radtka SA, Skinner SR, Dixon DM *et al.* (1997) A comparison of gait with solid, dynamic, and no ankle-foot orthoses in children with spastic cerebral palsy. Phys Ther, 77(4): 395-409
30. Read HS, Hazlewood ME, Hillman SJ *et al.* (2003) Edinburgh visual gait score for use in cerebral palsy. J Paediatr orthop, 23: 296-301
31. Renaudin E, Khouri N, Robert M *et al.* (1994) Is surgery of the hip adductor muscles justified in children with cerebral palsy. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot ; 80(2): 108-12
32. Rodda JM, Graham HK, Carson L *et al.* (2004) Sagittal gait patterns in spastic diplegia. J Bone Joint Surg, 86-B, 2: 251-8
33. Romkes J, Brunner R (2002) Comparison of a dynamic and a hinged ankle-foot orthosis by gait analysis in patients with hemiplegic cerebral palsy. Gait and Posture,, Vol. 15, Issue 1: 18-24
34. Romei M, Galli M, Motta F *et al.* (2004) Use of the normalcy index for the evaluation of gait pathology. Gait and posture, 19: 85-90
35. Russel DJ, Avery LM, Rosenbaum PL *et al.* (2000) Improved scaling of the gross motor function measure for children with cerebral palsy : evidence of reliability and validity. Physical Therapy, 80: 873-85
36. Russel D, Rosenbaum P, Cadman D *et al.* (1989) The gross motor function measure : a means to evaluate the effects of physical therapy. Dev Med Child Neurol, 31: 341-52
37. Schindl MR, Forstner C, Kern H *et al.* (2000) Treadmill Training With Partial Body Weight Support in Nonambulatory Patients With Cerebral Palsy. Arch Phys Med Rehabil, 81: 301-6
38. Schwartz M (2000) An index for quantifying deviations from normal gait. Gait and posture, 11: 25-31
39. Simeoni MC, Auquier P, Antoniotti S *et al.* (2000) Validation of a French health-related quality of life instrument for adolescents : the VSP-A. Qual Life Res, 9: 393-403
40. Sutherland DH, Davids JR (1993) Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. Clin orthop and Related Research, 288: 139-47
41. Sutherland DH, Hagy JL (1984) Measurement of gait movements from potion picture film: a preliminary report, JPO, 4: 715-25
42. Tardieu C, Lespargot A, Tabary C *et al.* (1998) For how long must the soleus muscle be stretched each day to prevent contracture? Dev Med Child Neurol; 30(1): 3-10
43. Tardieu G (1984) Les dossiers cliniques de l'IMC, 33-48
44. Tardieu G, Tardieu C, Colbeau-Justin P *et al.* (1982) Muscle hypoextensibility in children with cerebral palsy: II. Therapeutic implications, Arch Phys Med Rehabil; 63(3): 103-7
45. Vadot JP, Bérard C, Hodgkinson I *et al.* (2002) Orthèses d'aide à la marche. J orthopédie, Vol. 5-n° 14: 617-32

46. Van Der Linde ML, Hazlewood ME, Aitchison AM *et al.* (2003) Electrical stimulation of gluteus maximus in children with cerebral palsy : effects on gait characteristics and muscle strength. Dev Med Child Neurol, 45: 385-90
47. Winter TS, Gage JR, Hicks R (1987) Gait pattern in spastic hemiplegia in children and young adults. JBJS: 69A (3), 437-41

Conséquences biomécaniques des anomalies de torsion des membres inférieurs sur le pied pendant la marche

R. Darmana

Résumé

Les conséquences des anomalies de torsion des membres inférieurs sur la marche et sur les articulations ont été peu étudiées sur le plan biomécanique. Quelques travaux rapportent des modélisations expérimentales sur pièces cadavériques et, plus récemment, le développement des techniques utilisées dans les laboratoires d'analyse du mouvement ont permis d'effectuer des mesures directement sur le patient. La mesure des forces de réaction au sol, des pressions plantaires et des mouvements articulaires a révélé des modifications d'événements importants du cycle de marche comme la réception ou la fin de phase d'appui dans des configurations de marche avec les pieds orientés vers l'intérieur ou vers l'extérieur. Les intensités et les modalités d'application des forces et des pressions sont modifiées mais également les points d'application, ceci mettant en danger les petites structures osseuses et articulaires du pied. L'angle de progression du pied est fondamentalement modifié pour la marche en rotation interne alors qu'il reste normal, bien que décalé en amplitude, pour la marche en rotation externe. Ces résultats biomécaniques peuvent expliquer, au moins en partie, l'origine de pathologies articulaires relatives à ces anomalies décrites dans la bibliographie médicale.

Introduction

La croissance osseuse des membres inférieurs chez l'enfant normal entraîne des modifications en torsion des os longs (1-4). Les anomalies fémorales et tibiales éventuellement rencontrées pendant la croissance sont fréquentes (5-7) et évolutives (8), elles se traduisent par une marche pieds tournés vers l'intérieur ou vers l'extérieur. Ces morphotypes induisent des changements des paramètres biomécaniques de la marche, mineurs quelquefois mais fondamentaux parfois, qui se traduisent par des modifications des forces de réaction au sol (9, 10) et des mouvements articulaires (11). Lorsqu'elles ne sont pas compensées, ces malformations peuvent entraîner des pathologies dégénératives des cartilages du fait des contraintes mécaniques qu'elles occasionnent dans les zones de

contact (12, 13) ; ces dernières peuvent être déplacées alors que l'intensité des contraintes est généralement amplifiée avec l'augmentation de la déformation de manière non linéaire (14, 15). L'enfant Infirme Moteur Cérébral (IMC) développe souvent des anomalies torsionnelles qui sont liées à des problèmes de tonicité musculaire, des rétractions des tissus mous ou des déviations osseuses (16, 17).

L'Analyse Quantifiée de la Marche (AQM) apporte au médecin et au chirurgien des données physiques et quantifiées qui caractérisent objectivement la déambulation de leur patient et qui s'ajoutent aux données cliniques habituelles. Les paramètres de la marche normale sont connus (18-21) et, du fait du caractère cyclique de ses mouvements, ces données peuvent être observées en fonction des différents événements temporels. Elles pourront être comparées entre elles d'une date à une autre pour mesurer l'évolution de l'état d'un patient et pour comparer des patients entre eux. Si les quantités de données sont suffisamment importantes pour satisfaire les critères statistiques, il sera possible de créer un modèle représentatif de la pathologie étudiée.

Les résultats obtenus par l'AQM sont examinateur-indépendants mais très fortement patient-dépendants : la méconnaissance de l'environnement du laboratoire peut pousser le patient à ne pas être naturel involontairement ; par ailleurs, sa morphologie peut nécessiter un positionnement des pastilles rétroréfléchissantes du système opto-électronique particulièrement adapté. Il faut donc toujours avoir présent à l'esprit que les données recueillies le sont dans certaines conditions et que les résultats doivent être interprétés et discutés relativement à ces conditions.

Les grandeurs mesurées sont les forces exercées par les pieds sur le sol, les mouvements des membres inférieurs, les pressions plantaires, l'activité musculaire et la consommation d'oxygène. Seuls les trois premiers seront développés ici.

Torsion fémorale et torsion tibiale

Le terme « torsion » s'applique à la géométrie d'une structure, généralement allongée, qui est vrillée autour de son axe longitudinal de manière à obtenir un décalage angulaire entre les deux extrémités. La littérature anglo-saxonne utilise le terme « *twist* ». Dans la pratique, c'est l'opération que réalise un ferronnier d'art pour torsader une barre métallique et lui donner la forme d'une hélice. En orthopédie, un os est dit « tordu » parce qu'il existe un décalage angulaire entre ses deux extrémités, décalage mis en place pendant la morphogenèse. Il est fondamental de ne pas confondre la torsion et la rotation : la première représente une déformation de la structure, alors que la deuxième représente un mouvement de la structure, sans déformation. Ainsi, un fémur peut être « tordu » autour de son axe longitudinal dans le cas où il comporte une antétorsion et tourner pendant la marche autour d'un axe qui passe par le centre de la tête fémorale (fig. 1).

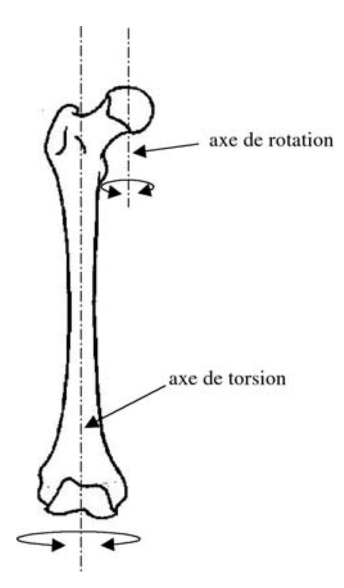
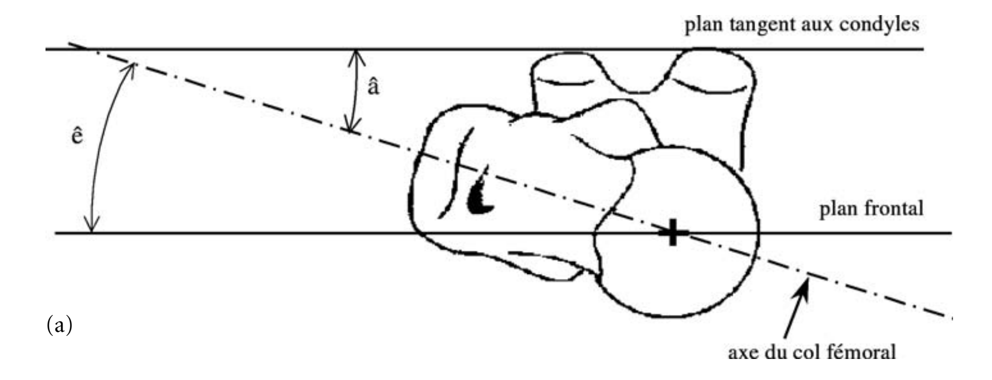


Fig. 1 - Axes de torsion et de rotation transversales du fémur.

Le fémur et le tibia peuvent présenter des torsions anormales à une période de la croissance. L'antétorsion fémorale est repérable par une position médiale du pied et une rotule orientée vers l'intérieur. Cette torsion fémorale peut être mesurée par tomodensitométrie scanner, elle est représentée par le décalage entre l'axe du col fémoral et un plan tangent aux bords postérieurs des condyles mesuré en projection dans le plan transversal (22). Lorsque cet angle est normal (fig. 2 a), il est dit d'antéversion, lorsqu'il est exagéré (fig. 2 b) il est dit d'antétorsion et lorsqu'il est insuffisant (fig. 2 c) il est dit de rétrotorsion. Il décroît de 40° à la naissance jusqu'à 15° à l'âge adulte. Sur la figure 2, la représentation de la torsion a été préférée en gardant l'angle ê constant car lors de la correction spontanée de cette torsion la rotule vient dans le plan coronal ; il a donc semblé plus logique de représenter cette correction par un déplacement rotatoire latéral de l'épiphyse distale plutôt que par un déplacement rotatoire médial de l'épiphyse proximale car celui-ci aurait nécessité, en plus, une rotation latérale de la hanche (modification de l'angle ê) de la même valeur angulaire pour positionner secondairement la rotule dans le plan coronal.



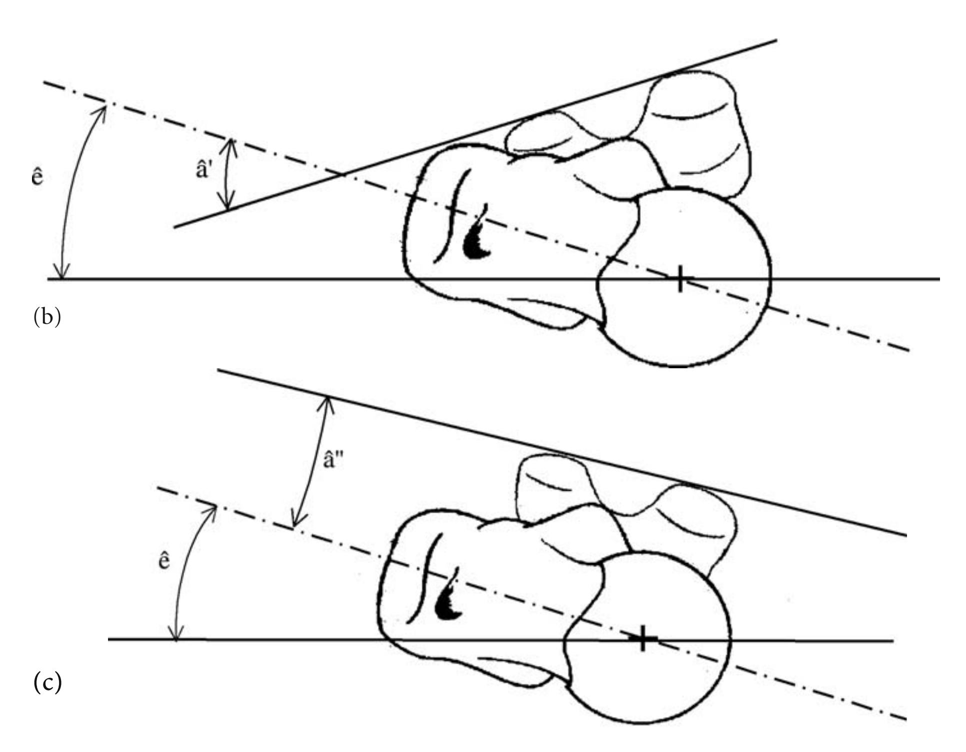


Fig. 2 - Mesure radiologique de l'angle d'antéversion et de torsion du fémur : (a) angle â d'antéversion fémorale ; (b) angle â' d'antétorsion fémorale (valeur normale augmentée de deux écarts types) ; (c) angle â" de rétrotorsion fémorale (valeur normale diminuée de deux écarts types). L'angle ê est l'angle de rotation du fémur dans le plan transversal (schémas inspirés de Kapandji [26]).

La torsion tibiale normale pendant la croissance s'effectue latéralement de 0° à 30° et les anomalies qui s'y rapportent sont soit une insuffisance (le pied est en position médiale), soit une exagération (le pied est en position latérale exagérée). Cette torsion tibiale peut être mesurée par tomodensitométrie scanner (23), elle est représentée par le décalage entre l'axe intermalléolaire et un plan tangent aux bords postérieurs des plateaux tibiaux mesuré en projection dans le plan transversal. Lorsque la valeur est normale (fig. 3 a), cet angle est appelé angle d'antéversion comme pour le fémur ; lorsqu'il est insuffisant (fig. 3 b) il est souvent par abus appelé angle de torsion tibiale interne, alors qu'il s'agit d'une insuffisance de torsion latérale ; lorsqu'il est exagéré (fig. 3 c) il est dit de torsion tibiale latérale exagérée.

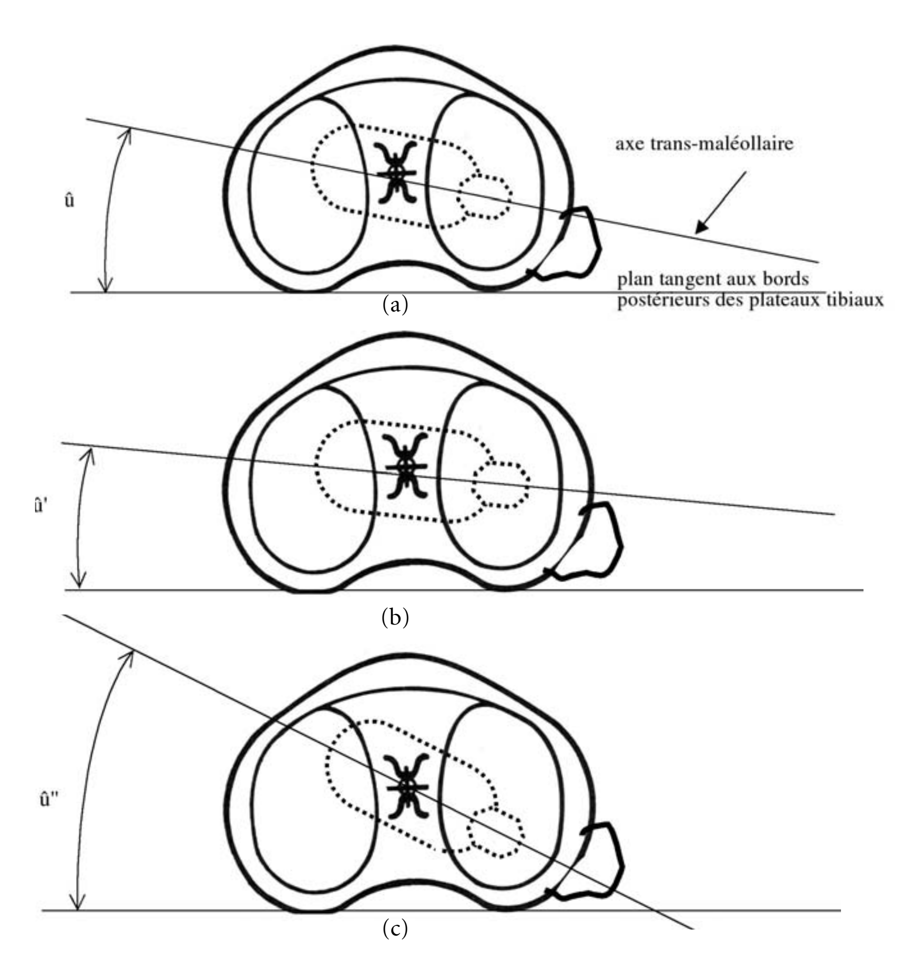


Fig. 3 - Mesure radiologique de l'angle d'antéversion et de torsion du tibia : (a) angle û d'antéversion ; (b) angle û' d'insuffisance de torsion tibiale (valeur normale diminuée de deux écarts types) ; (c) angle û" de torsion tibiale exagérée (valeur normale augmentée de deux écarts types). Schémas inspirés de Kapandji (26).

Mesure des forces de réaction au sol

Elle est réalisée avec un capteur intégré dans le sol, orienté selon trois axes : x, y, z, qui permet la mesure simultanée des trois composantes de la force de réaction au sol ainsi que des trois moments associés à ces composantes par rapport à chacun des axes. Ces forces sont identifiées comme $\vec{F}x$, $\vec{F}y$, $\vec{F}z$; généralement $\vec{F}x$ est la composante médio-latérale (qui sera appelée $\vec{F}ml$), $\vec{F}y$ est la composante antéro-postérieure (qui sera appelée $\vec{F}ap$) et $\vec{F}z$ est la composante verticale (qui sera appelée $\vec{F}v$) (fig. 4). Dans la mesure du possible, les enregistrements doivent être effectués pieds nus de manière à éviter l'effet inquantifiable des chaussures, trois à cinq fois pour chaque pied de manière à vérifier la reproductibilité des mesures.

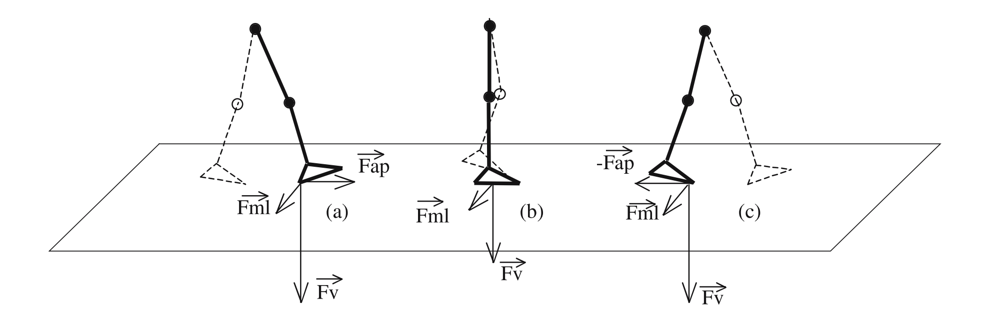


Fig. 4 - Représentation schématique des composantes de la force résultante exercée par le pied sur le sol. L'intensité est donné en pourcentage du poids du corps (pc) :
(a) réception ($|\overrightarrow{Fv}|$ = 120 % pc, $\overrightarrow{Fap}$ = 25 % pc, |Fml| = 5 % pc), (b) passage unipodal ($|\overrightarrow{Fv}|$ = 80 % pc, $|\overrightarrow{Fap}|$ = 0, $|\overrightarrow{Fml}|$ = 2 % pc) ; (c) fin de phase d'appui ($|\overrightarrow{Fv}|$ = 120 % pc, $|\overrightarrow{Fap}|$ = -25 % pc, |Fml| = 5 % pc).

Les résultats obtenus sur les intensités de ces composantes de forces pour une marche en rotation interne et en rotation externe sont représentés sur les figures 5.

La marche en rotation interne donne sensiblement les mêmes résultats qu'elle soit liée à une antétorsion fémorale exagérée ou à une insuffisance de torsion tibiale externe. Elle se caractérise par un choc talonnier de réception plus important dans le sens vertical (fig. 5 a) lié à une marche saccadée qui est rendue nécessaire par la baisse d'intensité de propulsion en fin de phase d'appui. Pour assurer la continuité de sa progression, le sujet compense ce défaut de propulsion par une attitude posturo-cinétique qui consiste à projeter son centre de masse vers l'avant du polygone de sustentation (corps penché vers l'avant) et créer ainsi un pseudo-déséquilibre qui génère un effort inertiel dans le sens de la progression. Cette stratégie compensatoire de marche comprend par ailleurs un balancement du membre controlatéral plus important que dans la marche normale pour fournir de l'énergie supplémentaire de progression. Ceci est repérable sur le graphique par la diminution d'intensité obtenue lors du passage unipodal, car ce balancement provoque un effet ascendant qui se soustrait à l'effort exercé sur le sol par le pied en appui.

Pour la marche en rotation externe, les intensités de réception et de propulsion sont équivalentes et plus faibles que la normale ; ceci est principalement lié à la faible vitesse de déplacement des sujets.

Les marches en rotation interne et externe ont des comportements biomécaniques similaires dans le sens antéro-postérieur (fig. 5 b). Elles présentent des intensités de réception et de propulsion inférieures à la normale ainsi qu'une asymétrie des surfaces de réception et de propulsion. Par contre, dans le sens médio-latéral (fig. 5 c), les réceptions sont similaires mais les propulsions ont des intensités qui reflètent bien le sens de la poussée latérale : la marche en rotation interne produit une intensité latérale quasiment nulle, alors que la marche en rotation externe montre une poussée dans ce même sens supérieure d'environ 50 % par rapport à la normale.

Sur le plan temporel, la durée absolue de la phase d'appui est plus importante pour la marche en rotation externe.

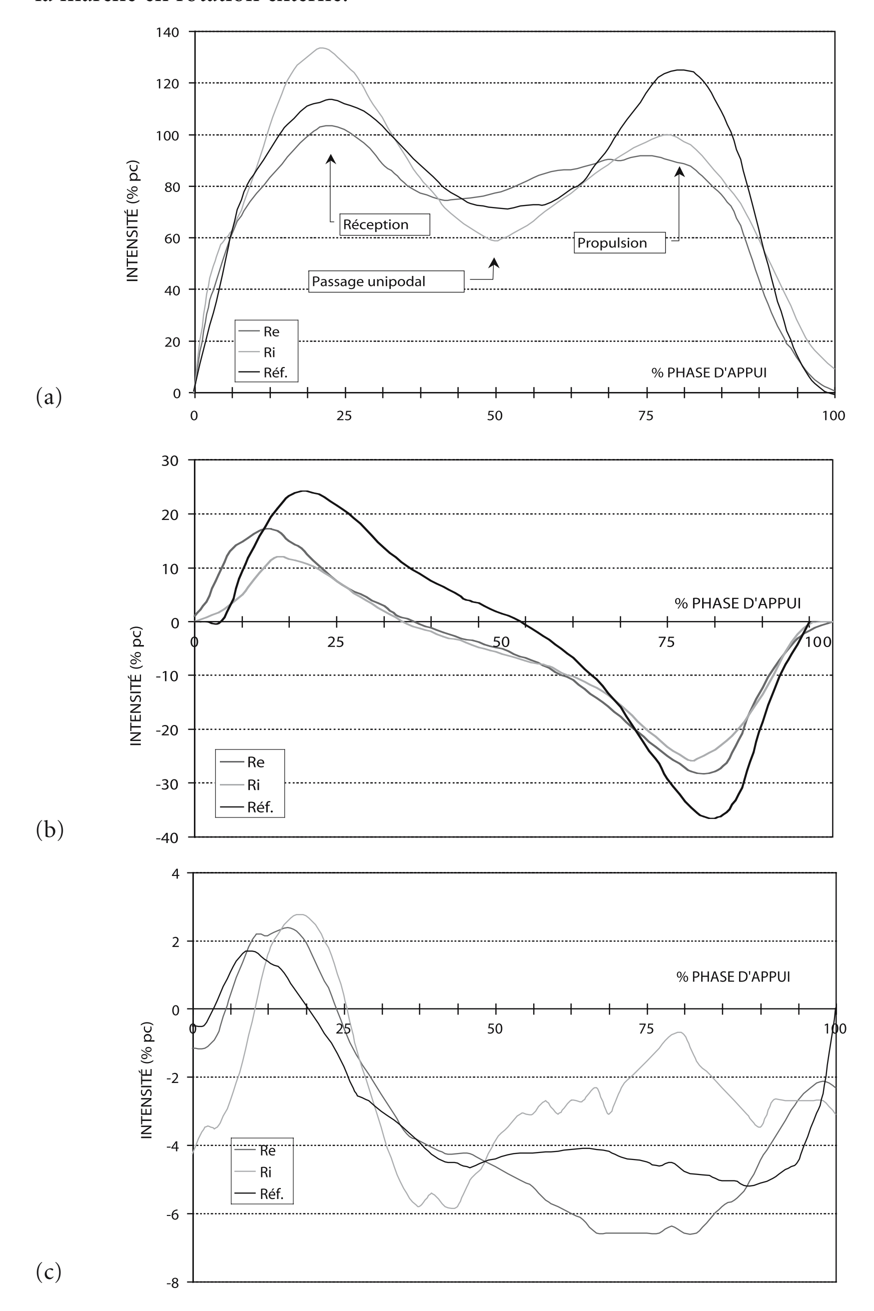


Fig. 5 - Courbes des composantes verticale (a), antéro-postérieure (b) et médio-latérale (c) pour les trois modes de marche : normale (Réf.), en rotation interne (Ri) et en rotation externe (Re). (Capteur INCA44, Captels, 34 St. Mathieu de Tréviers, France.)

Mesure des pressions plantaires dynamiques

Elle est réalisée avec un plateau intégré dans le sol comportant de 1 à 4 cellules de mesure par cm^2 ou avec des capteurs en forme de semelles qui sont introduits dans les chaussures. La cartographie des pressions obtenue pour toute la surface du pied permet de connaître les zones où s'appliquent les forces agissant lors d'événements particuliers comme la réception et la propulsion. Le calcul du barycentre des pressions sur chaque image permet d'obtenir la trajectoire du centre des pressions qui reflète les mouvements longitudinaux et transversaux du pied en projection horizontale. La discrétisation surfacique importante de certains podomètres (4 capteurs par cm^2) rend la reproductibilité relative des mesures assez mauvaise car les zones d'appuis sont changeantes du fait des postures podales qui ne sont pas reproductibles au 1/4 de cm^2 près. Les valeurs de pression pour une zone donnée peuvent donc fluctuer de manière importante et il peut, dans ce cas, être intéressant de revenir à la notion de force relative à une zone d'appui bien déterminée, de manière à s'écarter de la trop grande discrétisation. Il est préférable aussi de prendre en compte le temps pendant lequel ces efforts sont exercés. C'est pourquoi l'unité utilisée dans ce qui suit est le « taux de charge » qui s'exprime par le rapport de la force appliquée sur une surface d'intérêt par le temps durant lequel cette force est appliquée.

La figure 6 montre des empreintes dynamiques obtenues en marche normale (a), en marche en rotation interne (b) et en marche en rotation externe (c). En marche normale, les valeurs des taux de charge montrent que lors de la réception sur le talon les sollicitations sont équilibrées entre les bords médial et latéral (tableau I). La marche en rotation externe du fait de son orientation latérale du pied sollicite davantage le bord latéral du talon et décharge le bord médial ; le taux de charge devient donc plus important en zone latérale. À l'inverse, la marche en rotation interne contraint davantage le bord postéro-interne du talon lors de la réception et décharge le bord postéro-latéral. Au niveau de l'avant-pied, en marche normale, la propulsion en fin de phase d'appui se fait préférentiellement sur la première tête métatarsienne puisque le pied est légèrement latéralisé. Ceci se reproduit pour la marche en rotation externe sans changement significatif. Pour la marche en rotation interne, l'effort de propulsion change de côté et vient s'appliquer sur la zone centro-latérale (24).

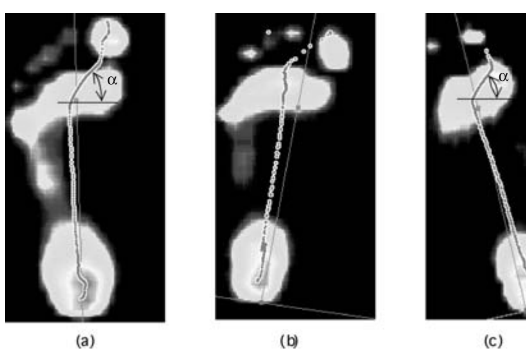


Fig. 6 - Empreintes dynamiques des surfaces et pressions plantaires : (a) marche normale, (b) marche en rotation interne et (c) marche en rotation externe. La densité de gris augmente avec la pression et la ligne longitudinale représente la trajectoire du centre des pressions. (Capteur Footscan, Biogesta, 59 Denain, France.)

Tableau I - Valeurs du taux de charge pour les trois modes de marche : marche normale (Réf.), marche en rotation interne (Ri), marche en rotation externe (Re) appliqué sur les zones médiale et latérale du talon et de l'avant-pied.

		Réf. *Taux de charge* *(N/s)*	*Re* *Taux de charge* *(N/s)*	*Ri* *Taux de charge* *(N/s)*
Talon	Zone médiale	6,2	1	2
	Zone latérale	5,8	2	0,3
Avant-pied	Zone médiale	1,4	1,3	0,7
	Zone latérale	0,9	0,6	1,1

L'analyse de la trajectoire du centre des pressions est intéressante pour comprendre les stratégies de réception et de propulsion. Dans les trois cas, cette courbe montre qu'il y a un mouvement d'éversion au tout début de la réception sur le talon, mouvement immédiatement corrigé. Au niveau de l'avant-pied, la marche normale et la marche en rotation externe montrent une ressemblance liée au fait que l'orientation des pieds est latérale dans les deux cas. L'inclinaison d'angle α de la trajectoire du centre des pressions est moins importante pour la marche en rotation externe, ce qui indique qu'il y a un mouvement de rotation externe du pied selon son axe long au moment de la propulsion qui dirige l'appui vers le bord interne de la première tête métatarsienne plutôt que vers le gros orteil. La marche en rotation externe présente donc un fonctionnement s'approchant de la normale mais, du fait des efforts médiaux appliqués sur le gros orteil en fin de phase d'appui, elle favorise sa déviation vers l'intérieur du pied ressemblant ainsi à un *hallux valgus.* Pour la marche en rotation interne, en propulsion, la trajectoire du centre des pressions se dirige directement vers le deuxième métatarsien et le dernier point de contact se situe à l'extrémité du troisième orteil. Le mouvement du pied en phase de fin d'appui est donc une rotation interne autour de son axe long : l'effort de propulsion s'effectue sur les petites têtes métatarsiennes qui ne sont pas massives et prévues comme la première pour résister à des efforts importants, cela explique que la force de propulsion verticale soit inférieure à la normale et aussi que les petits orteils soient déviés comme des quintus varus dans ce type de marche.

Chez les sujets hémiplégiques, la spasticité modifie l'appui du pied au sol et induit selon son intensité des profils de distribution plantaires spécifiques ; les pics de pression sous le médio-pied sont jusqu'à cinq fois supérieurs à la normale. Dans le cas de spasticité importante, les perturbations les plus significatives siègent sous la première tête métatarsienne et sous l'*hallux* du membre atteint. La vitesse et la longueur des pas sont réduites et le double appui augmenté (25).

Mesure des mouvements articulaires

Elle est réalisée à l'aide de mires collées sur la peau du patient, en majorité sur des repères anatomiques. Leurs déplacements sont enregistrés par l'intermédiaire de caméras. À l'aide d'un logiciel spécifique, les images de ces mires sont reliées par des segments. On peut ainsi créer un modèle cinématique du sujet marchant et calculer toutes les grandeurs du mouvement (trajectoires, déplacements, vitesses, accélérations, linéaires et angulaires).

Pendant la marche normale, le pied effectue des rotations internes et externes dépendant du membre inférieur dans son ensemble. Il ne s'agit pas d'un mouvement isolé. Ce mouvement est appelé « angle de progression du pied »[1] car il est mesuré par rapport à la direction de progression du sujet. Lorsque le pied se pose sur le talon, il est orienté latéralement de 15° ; il tourne ensuite médialement de 5° pour donner l'angle du pas qui restera quasiment constant jusqu'à la fin de la phase d'appui. La progression du tibia entraîne ensuite l'élévation du talon puis une rotation externe du pied qui se termine vers 30° en début de phase oscillante. Le pied revient à sa position initiale pendant la phase oscillante (fig. 7). Le même fonctionnement se retrouve pour la marche en rotation externe ; la valeur d'angle est simplement amplifiée du fait de l'anomalie. Par contre, dans le cas de la marche en rotation interne, le pied se pose de manière médialisée : en fin de phase d'appui, la trajectoire du tibia se trouvant du côté latéral de l'avant-pied, celui-ci sera entraîné en rotation interne. C'est ce qui explique que la fin d'appui se réalise sur les petites orteils. On notera une différence entre la marche en rotation interne liée à une insuffisance de torsion tibiale et la marche en rotation interne liée à une antétorsion fémorale exagérée. En effet, cette dernière génère également une rotation interne en fin de phase d'appui mais est suivie d'une rotation externe ce qui n'est pas le cas quand l'anomalie est tibiale. La marche en rotation interne, en fonction de l'importance de la torsion médiale, entraîne généralement un mouvement d'abduction des hanches nécessaire pour que les avant-pieds ne se touchent pas pendant le passage du pas.

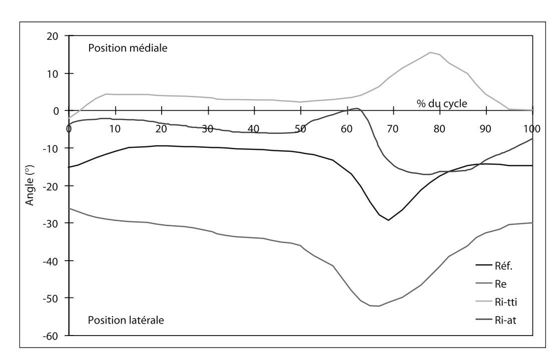


Fig. 7 - Angle de progression du pied en fonction du cycle pour la marche normale (Réf.), pour la marche en rotation interne liée à une insuffisance de torsion tibiale (Ri-tti) ou à une antétorsion fémorale exagérée (Ri-at) et pour la marche en rotation externe (Re). (Système ELITE, BTS, Milan, Italie.)

1. La mesure de cet angle avec un système opto-électronique peut donner des résultats légèrement différents selon les constructeurs. Un des modèles est basé sur la conception d'un centre unique de rotation du pied qui se situe au centre articulaire de la cheville ce qui n'est pas conforme à la physiologie puisque le pied pivote autour du talon au moment de la réception et sur la première tête métatarsienne en fin de phase d'appui.

Des modifications sont également observées dans la flexion de cheville avec des conséquences pour le pied. Après le double appui de réception et pendant toute la phase d'appui, la flexion de cheville correspond en fait au rabattement du tibia sur le pied. Ce mouvement s'effectue par rapport à l'axe de la tibio-tarsienne qui n'est pas strictement dans le plan coronal mais orienté vers l'extérieur de quelques degrés (26) (fig. 8). Bien que le sujet se déplace globalement dans le plan sagittal, cette conformation d'axe ne produit pas d'interférence cinématique car elle est nécessaire à l'exécution des mouvements latéraux permettant la mise en charge alternée des pieds pendant la progression. Par contre, lorsque le pied est médialisé ou latéralisé, le décalage entre le nouvel axe de flexion et le plan de progression qui n'a pas changé est devenu trop important ; les élans latéraux ne peuvent pas suivre ce décalage sous peine de réduire trop fortement le rendement de la progression. Dans l'articulation, les malléoles suivent la progression du tibia ; elles s'appuient transversalement sur les joues astragaliennes. La flexion dorsale est donc réduite du fait du blocage du tibia qui entraîne alors transversalement le pied en rotation sur lui-même. Cette rotation s'effectue autour d'un axe liant le centre articulaire de la cheville et le point de contact métatarsien, ce qui crée des contraintes en pronation ou supination selon le genre de l'anomalie, latérale ou médiale.

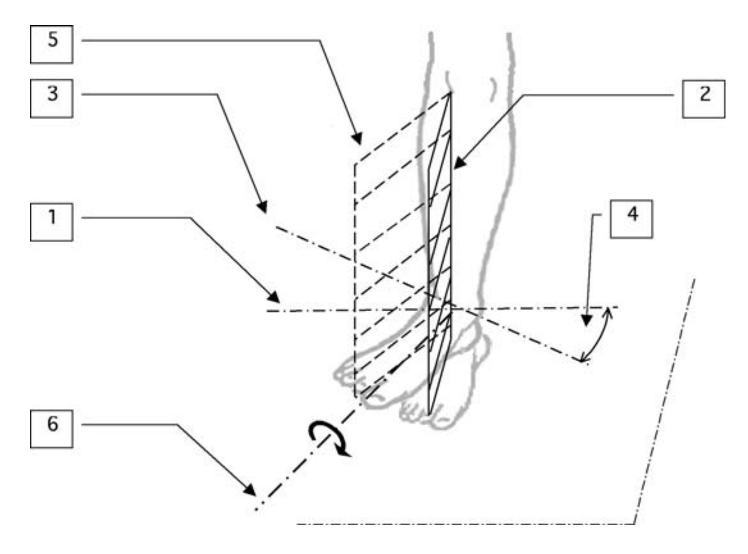


Fig. 8 - Décalage des axes de flexion de cheville entre la marche normale et la marche en rotation externe : (1) axe de flexion de cheville pour la marche normale ; (2) plan de flexion du tibia pendant la marche normale ; (3) axe de flexion de cheville pour la marche pieds en rotation externe ; (4) décalage des axes de flexion lié à l'anomalie de torsion tibiale externe ; (5) plan fictif dans lequel devrait fléchir le tibia pour qu'il n'y ait pas d'interférence cinématique lors de la marche en rotation externe ; (6) axe d'enroulement du pied lors de la marche en rotation externe.

Chez l'enfant hémiplégique, le fonctionnement de la cheville est modifié du fait de la réception en équin ; la flexion plantaire de début de cycle normal disparaît et la cheville effectue directement une flexion dorsale dont l'amplitude est réduite tout comme la flexion plantaire en fin de phase d'appui (27).

Considérations théoriques

Les anomalies de torsion, en modifiant les structures, changent la configuration mécanique du système musculo-squelettique. Comme les mesures de pression le montrent tout particulièrement, les points d'application des forces sont déplacés, les bras de levier et les moments de forces qui gèrent l'équilibre de certaines articulations sont donc également modifiés. La marche en rotation externe affaiblit le moment d'extension du genou (28) mais ces anomalies ne font pas que modifier les intensités, elles créent également des sollicitations. Pour les décrire, une étude théorique a été développée dans les trois plans de l'espace au niveau du genou, de la cheville et du pied en prenant l'anomalie de torsion tibiale externe exagérée pour modèle (29). Seules les conséquences sur le pied seront développées ici.

La marche en rotation externe entraîne une déviation latérale de l'articulation de cheville et du pied d'une valeur angulaire θ équivalente à celle de l'anomalie (fig. 9). L'axe long du pied p prend alors la position p'. Cette modification d'orientation du pied n'entraîne pas de modification du sens du déplacement y du sujet. Dans cette configuration, le point d'application de la force $\vec{F}n$, verticale, se rapproche de l'axe instantané de flexion g du genou d'une distance d-d' proportionnelle au cosinus de θ. La modification de cette distance qui s'opère ici dans le plan sagittal n'a d'influence que sur la stabilité du genou. Mais cette force $\vec{F}n$ induit des sollicitations en torsion de l'avant-pied en fin de phase d'appui qui diffèrent en genre selon que l'anomalie du squelette jambier est médiale ou latérale. Dans le cas de la marche normale, $\vec{F}n$ est appliquée sur la première tête métatarsienne. Son point d'application se trouve à une distance l de l'axe du pied et produit ainsi un moment de torsion qui s'exerce le long de l'axe p (fig. 10 a). Ce moment est un moment de *varus* de l'avant-pied, noté $\vec{M}varap$, et a pour expression :

$$\vec{M}varap = \vec{F}n \wedge \vec{l}$$

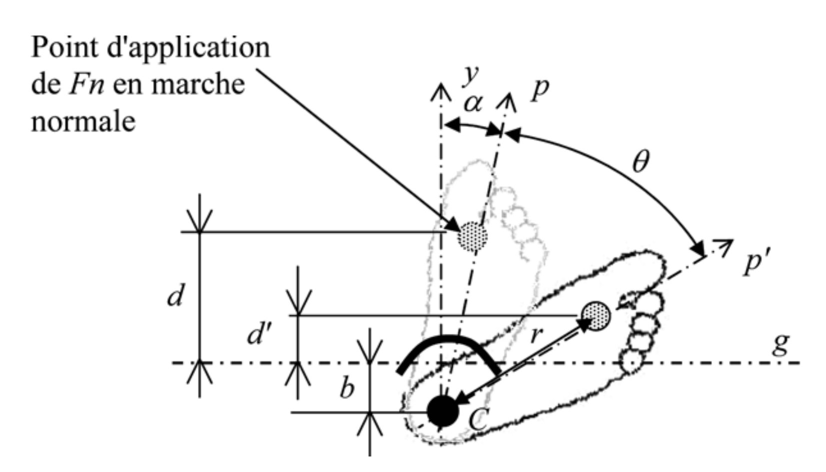


Fig. 9 - Pour une anomalie de torsion tibiale externe d'amplitude θ, le point d'application de la force se rapproche de l'axe instantané de flexion du genou d'une distance d-d'. Pour un pied de pointure 40, r = 16 cm ; si α = 10° et si l'anomalie est de 40°, alors le rapprochement d-d' est égal à 5,4 cm. (r = distance entre le centre articulaire de la cheville et le point d'application de $\vec{F}n$.)

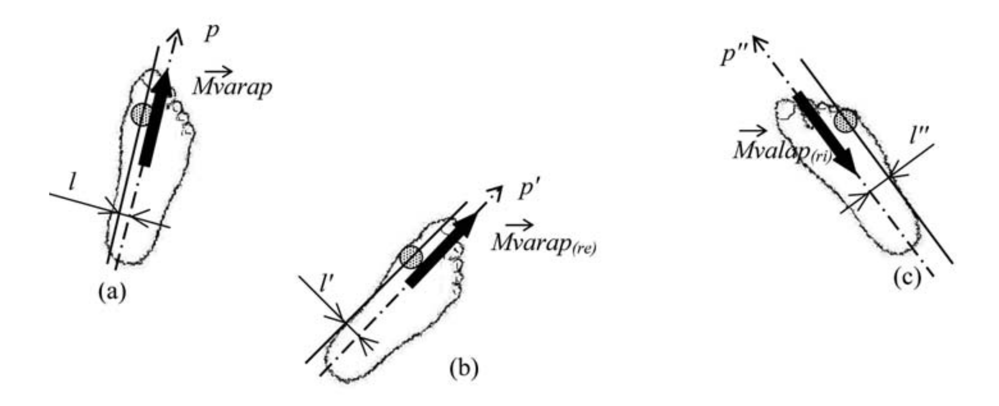


Fig. 10 - Représentation des moments de varus et valgus de l'avant-pied liés aux efforts $\vec{F}n$, $\vec{F}n_{(re)}$ et $\vec{F}n_{(ri)}$. La représentation des moments est vectorielle. Lorsque le vecteur est dans le sens de l'axe p, cela signifie que la torsion s'effectue dans le sens de vissage qui conduit à un déplacement selon le sens de l'axe. Cette représentation permet de différencier le varus qui est positif car il est dans le sens de p du valgus qui est négatif puisque il est dans le sens contraire de p.

Dans le cas de la marche en rotation externe (fig. 10 b), la configuration biomécanique est similaire à celle de la marche normale un moment de *varus* de l'avant-pied est également retrouvé, noté $\vec{M}varap_{(re)}$. Son intensité dépendra de l'intensité de $\vec{F}n_{(re)}$ et de la distance l' sensiblement égale à l . Son expression s'écrit :

$$\vec{M}varap_{(re)} = \vec{F}n_{(re)} \wedge \vec{l'}$$

Dans le cas de la marche en rotation interne (fig. 10 c), le point d'application de la force appelée $\vec{F}n_{(ri)}$ se situe vers le bord latéral du pied et est donc passé de l'autre côté de l'axe p. Ainsi, le moment créé change de sens et devient un moment de *valgus* de l'avant-pied, noté $\vec{M}varap_{(ri)}$, qui a pour expression :

$$\vec{M}varap_{(ri)} = \vec{F}n_{(ri)} \wedge \vec{l''}$$

Les deux autres composantes de force antéro-postérieure $\vec{F}ap$ et médio-latérale $\vec{F}ml$ agissent tangentiellement (fig. 11) dans le plan transversal. Pendant la marche normale, alors que le pied termine la phase d'appui, la force $\vec{R}$ résultante de $\vec{F}ap$ et $\vec{F}ml$ exerce un moment de torsion $\vec{M}t(R)$ sensiblement par rapport à l'axe tibial qui est le produit de l'intensité de $\vec{R}$ par la distance f (fig. 12 a). L'expression de ce moment s'écrit :

$$\vec{M}t(R) = \vec{R} \wedge \vec{f}$$

Son intensité est faible car la distance f est quasiment nulle.

Lors de la marche en rotation externe (fig. 12 b), le point d'application et la droite d'action de la résultante s'éloignent sensiblement de l'axe tibial pour se trouver à la distance f ' de cet axe. Le nouveau moment de torsion noté $\vec{M}t(R)_{(re)}$ est donc supérieur à $\vec{M}t(R)$, ce qui génère d'importantes sollicitations en torsion sur les articulations du genou et de la cheville ainsi que sur le squelette jambier.

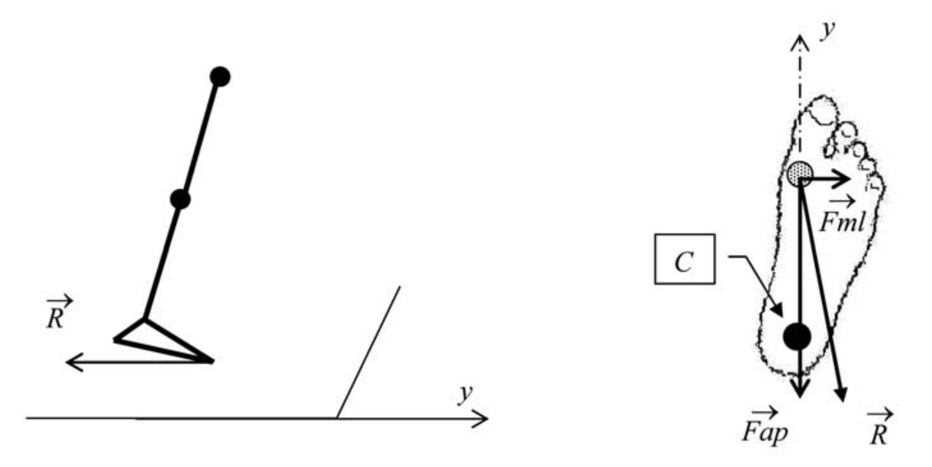


Fig. 11 - Représentation des forces tangentielles, de leur résultante $\vec{R}$ et du centre C projection des centres articulaires du genou et de la cheville dans le plan transversal.

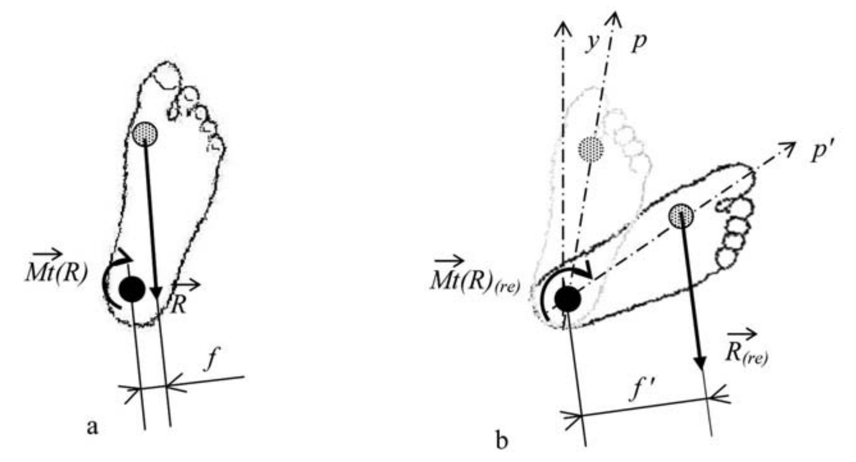


Fig. 12 - Représentation de la résultante des forces tangentielles et du bras de levier f pour la marche normale (a) et f ' pour la marche en rotation externe (b).

L'expression de ce moment de torsion s'écrit :

$$\vec{M}t(R)_{(re)} = \vec{R}_{(re)} \wedge \vec{f}'$$

Le bras de levier f ' est dépendant de θ (fig. 13), la relation entre f ' et θ s'écrit :

$$f' = r \sin(\alpha+\beta+\theta)$$

Tandis que pour la marche normale, θ étant nul, la relation s'écrit :

$$f = r \sin(\alpha+\beta)$$

Si l'intensité de $\vec{R}_{(re)}$ est considérée dans une première approximation égale à celle de $\vec{R}$, alors :

$$\vec{M}t(R)_{(re)} = \vec{M}t(R) \sin(\alpha+\beta+\theta) / \sin(\alpha+\beta)$$

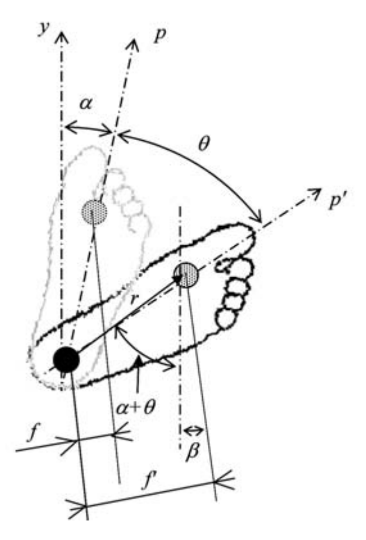


Fig. 13 - L'angle β est fonction du rapport entre les intensités des deux forces Fml et Fap et est égal à Arc tgt (Fml/Fap). Pour la marche normale, ce rapport est égal à 1/5 donc β = 11,3° ; si α = 10° et si r = 16 cm, f = 5,8 cm. Pour une anomalie de torsion tibiale externe d'amplitude θ = 40°, f ' = 14 cm. Ceci reste vrai si le rapport Fml/Fap reste constant.

Cette expression montre bien que le moment de torsion augmente si θ augmente. La relation n'est pas linéaire, le moment de torsion n'évolue plus à partir d'une valeur de 60° de l'anomalie (fig. 14).

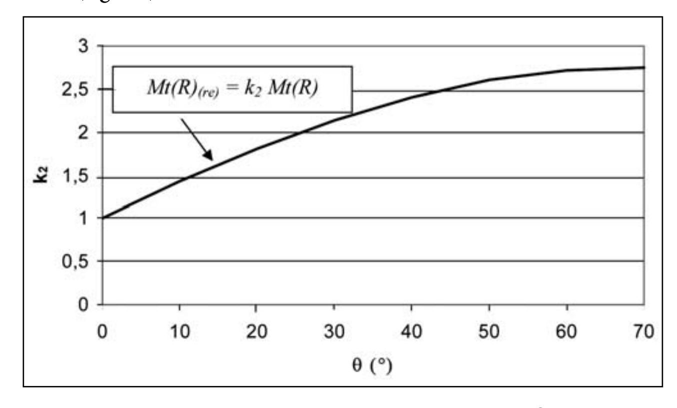


Fig. 14 - Évolution de $Mt(R)_{(re)}$ en fonction de θ (avec $k_2 = \sin(\alpha+\beta+\theta) / \sin(\alpha+\beta)$).

Comme pour $\vec{F}n$, aucune relation mathématique n'a pu être établie entre l'intensité de $\vec{R}_{(re)}$ et l'amplitude de l'anomalie. Cette force a été mesurée expérimentalement supérieure dans des études concernant les anomalies rotationnelles (9, 10). Cette augmentation d'intensité s'ajoute donc à l'accroissement de f et montre que l'anomalie de torsion modifie encore à deux niveaux la sollicitation en torsion du squelette jambier et de ses articulations. La courbe de la figure 14 montre que pour θ = 40°, le moment de torsion est 2,4 fois plus grand que le moment normal.

Conclusion

Les anomalies de torsion du squelette jambier ne sont donc pas biomécaniquement négligeables, associées ou non à des problèmes neurologiques. Elles interviennent de manière néfaste dans tous les plans en créant, diminuant et augmentant des bras de levier qui génèrent des efforts anormaux, réduisent la stabilité du genou et amplifient les torsions osseuses et les contraintes articulaires. En plus de créer des moments, ces anomalies amplifient quelquefois l'intensité de la force.

Certaines se corrigent vers l'âge de la puberté, mais les individus chez qui elles persistent pourront rencontrer des problèmes articulaires dépendant de leur activité physique ; les métiers dont la pratique sollicite intensément le système musculo-squelettique sont d'autant plus générateurs de pathologies.

Le temps joue un rôle important dans la genèse de la pathologie. Un sujet qui marche normalement réalise en moyenne 5 000 cycles par jour, soit 146 000 000 de sollicitations sur le talon et le gros orteil par exemple, pour une durée de vie de 80 ans. Des intensités d'efforts normaux souvent répétés peuvent entraîner des pathologies sur le long terme. Pour preuve, toutes les personnes âgées sans anomalie orthopédique ont une déviation interne du gros orteil qui peut s'expliquer par l'intensité de la sollicitation, la fréquence de répétition et la position latérale quand l'effort est exercé.

Références

1. Bedouelle J (1982) Antétorsion des cols fémoraux. Rev Chir Orthop 68: 5-13
2. Taussig G (1982) Torsions tibiales. Rev Chir Orthop 68: 20-3
3. Kristiansen LP (2001) The normal development of tibial torsion. Skeletal Radiol 30(9): 519-22
4. Jacquemier M, Jouve JL, Jimeno MT *et al.* (1997) Lower limb morphotypes. A clinical study in 1401 children. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 83(6): 531-9
5. Cahuzac JP, Hobatho MC, Baunin C *et al.* (1992) Classification of 125 children with rotational abnormalities. J Pediatr Orthop, Part B; 1: 59-66
6. Cordier W, Katthagen BD (2000) Femoral torsional deformities. Orthopade. 29(9): 795-801
7. Fabry G, Cheng LX, Molenaers G (1994) Normal and abnormal torsional development in children. Clin Orthop. 302: 22-6
8. Cahuzac JP (1991) Femoral antetorsion. Rec Prat. 21; 41(6): 523-7
9. Liu XC, Fabry G, Van Audekercke R *et al.* (1995) The ground reaction force in the gait of intoeing children. J Pediatr Orthop Part B, 4, 1, 80-5
10. Darmana R, Cahuzac JP, Hobatho MC (1997) Ground reaction forces during walking in children with tibial torsion abnormalities. Gait and Posture 6: 267
11. Darmana R, Dequae P, Hobatho MC *et al.* (1996) Lower limbs rotational abnormalities consequences on angular parameters in children walking. Gait and Posture 5: 86
12. Turner MS (1994) The association between tibial torsion and knee joint pathology. Clin Orthop, 302, 47-51
13. Yagi T (1994) Tibial torsion in patients with medial-type osteoarthrotic knees. Clin Orthop, 302, 52-6

14. Darmana R, Cahuzac JP, Autefage A (1989) Étude biomécanique des conséquences des rotations interne et externe de la hanche sur le bassin. Innov. Tech Biol Med; 10; 4: 452-68
15. Lee TQ, Anzel SH, Bennett KA *et al.* (1994) The influence of fixed rotational deformities of the femur on the patellofemoral contact pressures in human cadaver knees. Clin Orthop (302): 69-74
16. Davids JR, Benfanti P, Blackhurst DW *et al.* (2002) Assessment of femoral anteversion in children with cerebral palsy: accuracy of the trochanteric prominence angle test. J Pediatr Orthop 22(2): 173-8
17. Stefko RM, de Swart RJ, Dodgin DA *et al.* (1998) Kinematic and kinetic analysis of distal derotational osteotomy of the leg in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 18(1): 81-7
18. Burnett CN, Johnson EN (1971) Development of gait in childhood. Part I: Method. Dev Med Child Neurol ; 13: 196-206
19. Burnett CN, Johnson EN (1971) Development of gait in childhood. Part II. Dev Med Child Neurol ; 13: 207-15
20. Ounpuu S, Gage JR, Davis RB (1991) Three-dimensional lower extremity joint kinetics in normal pediatric gait. J Pediatr Orthop 11: 341-9
21. Oeffinger DJ, Augsburger S, Cupp T (1997) Pediatric kinetics: age related changes in able-bodied populations. Gait and posture ; 5: 155
22. Cohen-Sobel E, Levitz SJ (1991) Torsional development of the lower extremity. J Am Podiat Dedic Ass. 81(7): 344-57
23. Laasonen EM, Jokio P, Lindholm TS (1984) Tibial torsion measured by computed tomography. Acta Radiol Diagn (Stockh). 25(4): 325-9
24. Darmana R, Scandella M, Salmeron S *et al.* (2002) Foot pressure measurement in children with intoeing and outoeing walking. Gait and Posture ; 16: 149
25. Femery V, Moretto P, Renaut H *et al.* (2001) Spasticity and dynamic plantar pressure distribution measurements in hemiplegic spastic children. Ann Readapt Med Phys. 44(1): 26-34
26. Kapandji IA (1985) Physiologie articulaire. Tome 2. Membre inférieur. 5e édition. Maloine SA Editeur. Paris
27. Galli M, Fazzi E, Motta F *et al.* (1999) Kinematic and dynamic analysis of the ankle joint in children with cerebral palsy. Funct Neurol. 14(13): 135-40
28. Gage JR (1991) Gait analysis in cerebral palsy. Clinics in Developmental Medicine. Mac Keith Press,121: 101-17
29. R. Darmana. L'enfant IMC marchant. Sauramps Médical, à paraître.

Apport de l'EMG cinésiologique dans l'analyse de la marche de l'enfant IMC

Y. Blanc

L'étude objective de la fonction musculaire dynamique pouvant être reflétée par la mesure des potentiels d'action concomitants de la contraction musculaire en réponse à un stimulus supraliminaire est connue sous le nom d'électromyographie (EMG). La commande est transmise aux muscles par les motoneurones alpha. Un muscle au repos ne produit pas d'EMG. Le tonus musculaire et les contractures sont des entités cliniques n'ayant pas de traduction EMG. En analyse de mouvement, des modalités particulières de détection, d'enregistrement et d'analyse sont adaptées aux conditions d'études par rapport à l'EMG diagnostic. En particulier, la mobilité du sujet et l'intérêt pour un ensemble d'unités motrices (UM), leurs potentiels d'action moteurs (PAM), et non pour le PAM d'une seule UM voire d'une seule fibre musculaire, ont fait de l'EMG cinésiologique une entité particulière.

Le point faible de l'EMG cinésiologique est la trop grande facilité à obtenir un signal avec du matériel inadéquat et sans connaissance anatomique. Ceci conduit à une surinterprétation voire à des erreurs d'interprétation. La fidélité doit être la première qualité du signal c'est-à-dire que l'utilisateur doit avoir confiance dans l'origine du signal. La probabilité que le signal observé soit issu du muscle ou du faisceau musculaire cible dépend, outre de la morphologie et de la taille de l'enfant :

– du type d'électrodes ;
– de leur position ;
– de leur taille ;
– de leur écartement.

Le signal observé est un signal composite (1) :

EMG cinésiologique observé = EMG vrai + diaphonie + bruits (divers parasites)

Notre tâche est donc de limiter la diaphonie en plaçant les électrodes sur les « zones dites de diaphonie minimale » et non pas sur les points moteurs (2). La diaphonie (*cross-talk*) est l'enregistrement de signaux EMG parasites générés par des muscles actifs alors que le muscle cible est inactif. Ensuite par exercices volontaires ou automatiques, il est indispensable de vérifier la fidélité des signaux EMG et de tenter de reconnaître diaphonie et co-contraction. Pour l'enfant normal, les séquences EMG sont stables dès que l'enfant a acquis une marche indépendante et sûre.

Électrodes de surface ou électrodes implantées ?

Les électrodes de surface n'enregistrent que les muscles sous-cutanés avec le risque de contamination par diaphonie. Les fils électrodes implantés (3) enregistrent un tout petit volume de muscle au prix d'une piqûre et d'une électrostimulation pour confirmer la bonne localisation des fils. Leur inconfort lors des tests dépend de la rigidité des fils utilisés. À ce jour, aucun cas d'infection n'a été rapporté. Ils atteignent donc les muscles profonds inaccessibles aux électrodes de surface mais leur indication reste exceptionnelle. La diaphonie peut être considérablement réduite en utilisant des électrodes de surface miniatures (2,5 mm de diamètre de captation, espacées de 12 à 15 mm, placées dans l'axe des fibres musculaires, sur les zones de diaphonie minimale). Dans ces conditions, les électrodes de surface sont recommandées. Par contre, les électrodes d'EEG ou d'ECG, y compris pédiatriques, ont une surface sensible trop grande et sont trop espacées pour assurer la fidélité du signal EMG au niveau des jambes et des avant-bras et chez les enfants. Compte tenu du nombre important de muscles à enregistrer dans chaque session il est normal d'utiliser des électrodes de surface.

Qu'apporte l'EMG cinésiologique en analyse de mouvement (4)

Habituellement, les séquences d'activité musculaires sont déduites en fonction de nos connaissances anatomiques et de notre analyse visuelle du mouvement. L'EMG nous indique si la partie de muscle ou le muscle est actif et à quel(s) moment(s) des mouvements ou de la posture. Il est plus litigieux de vouloir en déduire l'intensité de la force développée car la relation force / EMG n'est pas linéaire en général. Le moment net et la puissance articulaire calculés en combinant la cinématique articulaire et la cinétique représentent, pour chaque articulation, le groupe musculaire dominant mais ne nous renseignent pas sur l'activité des groupes agonistes et antagonistes. Seul l'EMG peut le faire (5).

L'évolution de la fréquence médiane ou moyenne du spectre de fréquence en contraction isométrique sous maximale est un indicateur de la fatigue locale et du pH intramusculaire (6).

Un des termes le plus galvaudé en infirmité motrice cérébrale est celui de spasticité (7). Il existe une confusion et un amalgame entre « troubles de la commande, du contrôle du geste » et « spasticité » conduisant à qualifier de « spasticité » tout mouvement anormal. Ceci conduit à des sur-interprétations et à de mauvaises interprétations ayant des conséquences sur les traitements. Si l'on reconnaît la spasticité comme étant la réponse exagérée du réflexe d'étirement, on l'individualise des troubles de la commande. Pour que la réponse spastique existe, il faut un stimulus d'étirement supraliminaire en amplitude et en vitesse. Ceci permet d'enregistrer deux types de réponses : 1) un clonus à 6-7 Hz si l'étirement est rapide et suivi d'un maintien élastique de la tension appelée

aussi spasticité phasique (fig. 1) ; 2) une contraction continue, de faible amplitude en réponse à un étirement lent puis tenu, appelée spasticité tonique (fig. 2).

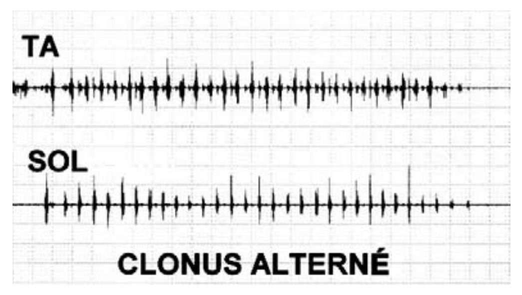


Fig. 1 - EMG de surface en cas de spasticité phasique du soléaire avec *clonus* alterné du jambier antérieur. Le *clonus* s'arrête spontanément lorsque l'opérateur relâche l'étirement élastique du soléaire.

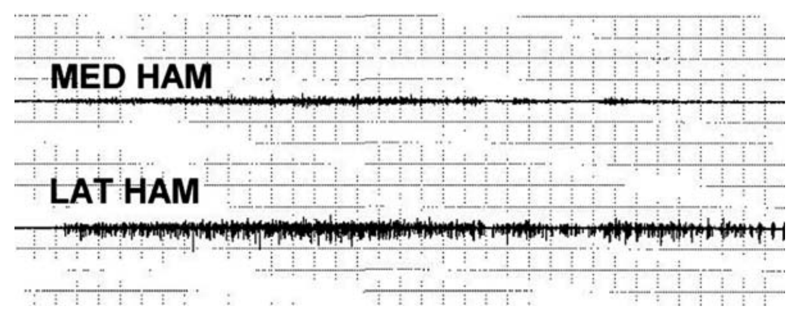


Fig. 2 - Spasticité tonique des ischio-jambiers internes semi membraneux + semi tendineux (MED HAM) et du long biceps fémoral (LAT HAM) en réponse à un étirement lent et maintenu lors de la mesure de l'angle poplité.

Il est exceptionnel d'enregistrer des tracés EMG de spasticité au cours de la marche, même rapide, de l'enfant IMC car le seuil de déclenchement en vitesse et amplitude d'étirement n'est pas atteint, compte tenu de l'amplitude limitée des mouvements et de la faible vitesse angulaire. Les schémas EMG anormaux primaires ne sont pas modifiés par une pompe à baclofen alors que la spasticité phasique est supprimée.

Anomalies EMG les plus fréquemment observées chez l'IMC

Les activités EMG enregistrées en contraction volontaire informent sur la capacité à commander et à contrôler le mouvement demandé. Elles n'ont pas de relation avec le recrutement et les séquences EMG en position debout et en marchant. Un muscle ou un groupe de muscles inactifs ou peu actifs en contraction volontaire peuvent être très actifs dans un mouvement synergiste et avoir une faible ou forte activité au mauvais moment

en marchant. Le muscle jambier antérieur (JA) peut être inactif en flexion dorsale analytique du pied, mais très actif lors de la flexion de hanche, avoir une seule phase d'activité au cours de la marche habituelle et devenir actif en permanence en marchant vite.

Les EMG en contractions volontaires, synergistes, réflexes ou lors d'exercices sur table d'examen n'ont pas de lien logique avec ceux de la marche habituelle, rapide ou de rééducation. Ces exercices permettent seulement d'estimer la diaphonie *versus* le niveau de co-contraction donc la fidélité et la confiance attachées à chaque signal EMG pour son interprétation au cours de la marche.

Les anomalies se répartissent en anomalie d'amplitude et de « *timing* » (8) que nous complétons par des anomalies du nombre et de « *timing* du pic d'activité » (9). Les anomalies d'amplitude sont peu utilisées car il faut normaliser l'amplitude par rapport à celle d'une contraction de référence le plus souvent difficile à obtenir chez l'IMC et avec une grande variabilité inter-essais. Les anomalies de *timing* sont décrites par rapport aux séquences du cycle de marche déterminées par le déroulement des pieds au sol. Celles correspondant aux troubles primaires de la commande sont invariantes c'est-à-dire qu'elles ne changent pas en fonction des traitements. La planification des interventions tendineuses de transposition ou d'allongement est basée sur cette fixité. Par contre les anomalies compensatoires évoluent selon les déformations primaires.

Les anomalies primaires de *timing* EMG les plus fréquentes sont :

– inversion de phase du *rectus femoris* associée à une diminution et/ou un retard du pic de flexion du genou en oscillation ;
– activité prématurée des ischio-jambiers internes (demi membraneux + semi tendineux) et/ou du long biceps fémoral associée à une augmentation de la flexion du genou en fin d'oscillation ;
– activité prématurée du jumeau interne dès la fin d'oscillation associée à une flexion plantaire exagérée en fin d'oscillation participant au contact initial pied-sol par l'avant-pied ;
– activité monophasique du jambier antérieur à la transition appui-oscillation ou en début d'oscillation ne relevant pas assez la pointe du pied pour éviter son accrochage en oscillation. Si le JA est retardé en oscillation, une chute de l'avant-pied persiste même après son hémi transfert sur le cuboïde pour suppléer l'inactivité de l'extenseur commun des orteils ;
– bouffée d'activité supplémentaire du tenseur du *fascia latae* à la transition appui-oscillation ou en début d'oscillation participant à la rotation interne de hanche en oscillation. Cette bouffée EMG est souvent présente avec celle des droits antérieurs chez les enfants maladroits (« *clumsy children* » ou « *minimal palsy* ») marchant avec la pointe des pieds en dedans ;
– activité prolongée ou permanente de l'extenseur commun des orteils, du court péronier combinée à une activité monophasique diminuée du jambier antérieur observées dans certains pieds *valgus* avec cassure dans le médio-pied.

Chez les diplégiques apparemment symétriques, les schémas droits et gauches sont le plus souvent légèrement différents. Les adducteurs de hanche sont encore accusés à tort d'être responsables de l'adduction des cuisses. Il est très rare que les muscles

adducteurs monoarticulaires aient une activité EMG anormale en marchant. L'attitude en adduction est une conséquence cinématique de la combinaison de la flexion et de la rotation interne de hanche. Conclure que les adducteurs en sont responsables est une déduction qui n'est pas confirmée par les enregistrements EMG. Par contre, le droit interne peut, avec une confiance raisonnable, être différencié des ischio-jambiers internes et présente souvent des anomalies de phase pouvant participer au *flexum* de genou et à l'adduction rotation interne de hanche. De fait, l'EMG des adducteurs mono articulaires est le meilleur défenseur de ces muscles contre les agressions chirurgicales ou de toxine botulique. Si une rotation interne est combinée à une flexion de hanche, le pied est déjeté latéralement. Pendant la phase portante sur ce pied, le balancement latéral des épaules du côté en appui n'est pas la compensation d'une activité EMG anormale (faible ou retardée) des stabilisateurs latéraux du bassin mais une adaptation nécessaire pour amener le centre de masse le plus près possible du pied portant.

Une bouffée de 40 à 80 ms d'EMG filtré du soléaire et/ou de l'un ou des deux jumeaux peut être mal interprétée comme étant une réponse à l'étirement lors d'un contact pied-sol par l'avant-pied. Pour le différencier d'un parasite de mouvement modifié par le filtre, il suffit d'enlever le filtre et de regarder la latence par rapport au contact pied-sol. L'équin dynamique sans rétraction des composants du triceps sural est la conséquence d'une activité raccourcie des releveurs du pied suivie d'une activité prématurée des jumeaux (le plus fréquemment) et du soléaire. La phase de propulsion est escamotée car le triceps est peu actif. Par contre, la marche idiopathique sur la pointe des pieds « *idiopathic toe walker* » présente une diminution de flexion dorsale par rétraction modérée du triceps ou par Achille court. L'enfant marche sur la pointe des pieds pour regagner de la mobilité de la cheville (en flexion dorsale relative par détente du soléaire) et éviter un genou hyper stable en appui par couplage pied-genou. Ses activités EMG sont comparables à celles d'un enfant sain marchant volontairement sur la pointe des pieds ; les anomalies EMG sont alors des compensations du déficit de flexion dorsale. Cependant, cette démarche s'accompagne souvent d'anomalies de phases des tenseurs du *fascia latae*, des droits antérieurs et des ichio-jambiers. Ces observations EMG sont en faveur du classement de ces enfants dans les « *minimal palsy* ».

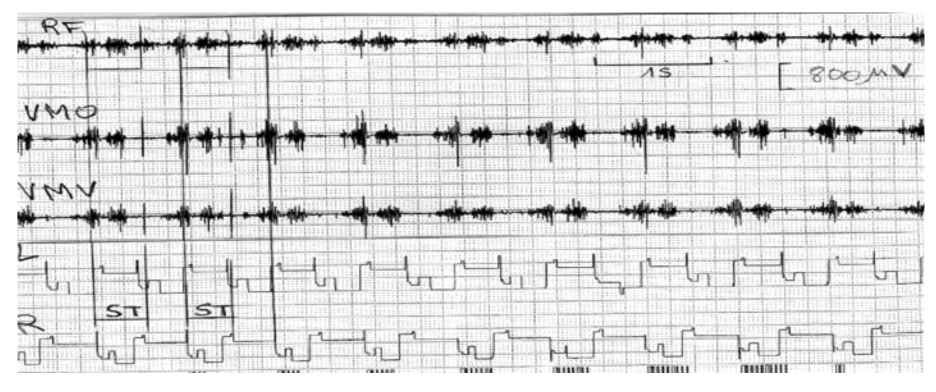


Fig. 3 - Diplégie, marche en triple flexion avec extension du genou droit pour faciliter le passage du pied gauche en oscillation et diminution du pic de flexion en oscillation. ST = phase d'appui, RF = droit antérieur, VMO = vaste interne oblique, VMV = vaste interne vertical, L = pied

gauche R = pied droit. Activité permanente du droit antérieur avec deux bouffées individualisées. Activité EMG bi-phasique des deux chefs du vaste interne, l'activité normale est une bouffée juste avant le contact pied-sol se poursuivant au tout début de l'appui.

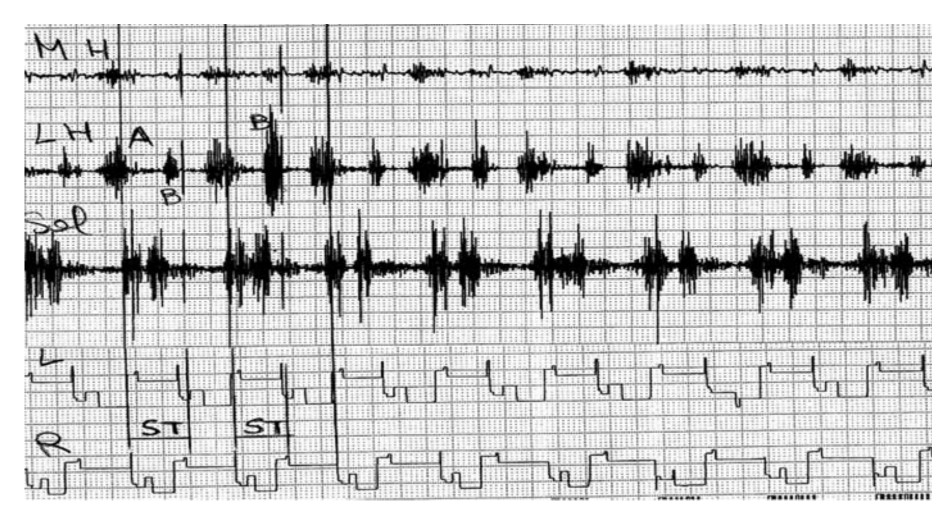


Fig. 4 - Même sujet que figure 3. ST = phase d'appui. MH = ischio-jambiers internes, activité mono-phasique prématurée. LH = long biceps fémoral, activité bi-phasique. A : 1re phase prématurée mais se terminant correctement. B : 2e phase supplémentaire en appui pouvant contrôler l'antéversion du bassin mais aussi induire une flexion du genou. Sol = soléaire activité bi-phasique plus ou moins bien séparée et suivie de signaux de faible amplitude correspondant vraisemblablement à de la diaphonie des releveurs du pied.

Conclusion

Bien que l'EMG cinésiologique soit une technique exigeante, elle est la seule à fournir objectivement les séquences d'activités et la coordination des muscles ou des faisceaux musculaires au cours des postures, des déplacements. Pendant les exercices de rééducation il permet de choisir les plus adaptés en fonction des réactions de chaque enfant. Il fournit des arguments supplémentaires dans le choix et les indications pour planifier transposition tendineuse, allongement et injection telle que toxine botulique. Il ne donne pas de mesure objective de la force musculaire.

Références

1. Blanc Y (1994) Étude de la marche par électromyographie cinésiologique in La marche humaine et sa pathologie Pélissier J, Brun V (eds) Collection de pathologie locomotrice n°27. Masson Paris: 104-17
2. Basmajian JV, Blumenstein R (1980) Electrode placement in EMG biofeedback. Baltimore. Williams & Watkins, 88 p

3. Basmajian JV, Stecko GA (1962) A new bipolar indwelling electrode for electromyography. J Appl Physiol; 17: 849
4. Blanc Y, Ounpuu S (1994) Apport des techniques d'analyse de la marche chez l'IMC in La marche humaine et sa pathologie Pélissier J, Brun V. (eds) Collection de pathologie locomotrice n°27. Masson Paris: 251-7
5. Basmajian JV. Muscles alive. Their function revealed by electromyography. 2nd ed. Baltimore. Williams & Watkins, 1967:1-22.
6. Basmajian JV, De Luca C (1985) Muscles alive. Their function revealed by electro-myography. 2nd ed. Baltimore. Williams & Watkins :203-7
7. Blanc Y (2001) La marche de l'enfant spastique in La spasticité. Pérennou D, Bussel B, Pélissier J (eds) Problèmes en médecine de rééducation N40. Masson Paris: 57-61
8. Perry J (1992) Gait analysis. Normal and pathological function. Ed. Thorofare: Slack: 396-400
9. Blanc Y (1996) EMG timing errors of pathological gait. In Hermens, H J, Merletti R, and Freriks, B. (eds), SENIAM European activities on surface electromyography, pp 183-5 Enschedde, Roessingh Research and Development

Injections de toxine botulique chez l'enfant IMC : stratégie multisites, évaluation multidimensionnelle, prises en charge associées

E. Chaléat-Valayer, J.-C. Bernard et É. Morel

Introduction

L'Infirmité Motrice Cérébrale (IMC) est la conséquence d'une lésion non évolutive, mais n'en constitue pas moins une pathologie progressive pendant la phase de croissance avec une logique d'effondrement en triple flexion.

Dans l'analyse des problèmes de motricité des enfants IMC, il faut différencier :

– les problèmes primaires, qui résultent directement de la lésion neuronale avec des perturbations du tonus musculaire, de l'équilibre, de la force et de la sélectivité musculaire ;
– les problèmes secondaires, qui résultent de la croissance et des problèmes primaires avec les rétractions musculaires fixées ou non et les déformations osseuses ;
– les problèmes tertiaires, qui sont les mécanismes posturaux compensatoires à la marche pour pallier les problèmes primaires et secondaires.

D'autre part, deux notions doivent être prises en considération :

– le développement de l'enfant qui est très rapide, notamment entre 1 et 7 ans où la taille de l'enfant double ;
– la maturation de la marche, qui ne se fait pas avant l'âge de 6-7 ans.

Les thérapeutiques doivent être proposées de façon cohérente, en fonction de l'ensemble de ces éléments. L'intervention au niveau de l'hypertonie doit être la plus précoce possible car elle est provoque l'apparition des troubles secondaires (rétractions, déformations osseuses) et représente à terme une véritable « maladie des bras de levier », selon les termes du Professeur Gage (1).

Les thérapeutiques pour réduire l'hypertonie dans ce contexte doivent être :

– sélectives, car il y a de nombreux muscles concernés mais ce ne sont pas les mêmes chez tous les enfants IMC ;
– réversibles car la marche est encore immature ;
– sûres et dose-dépendantes.

La toxine botulique A (TB) par son action locale de neurectomie chimique réversible, locale et durable, possède l'ensemble de ces caractéristiques et représente le traitement de choix de la spasticité plurifocale chez le petit enfant IMC.

Nous rappellerons dans cet article les principales caractéristiques et les dernières données concernant la physiopathologie et les techniques d'injection de la toxine botulique, et nous développerons les trois notions incontournables dans le cadre de ce traitement par TB :
– des injections multisites d'emblée dans le cadre d'un réalignement sagittal ;
– une évaluation rigoureuse multidimensionnelle clinique, vidéographique ;
– une approche interdisciplinaire avec protocole rééducatif et appareillage adapté.

La toxine botulique A

L'action de la toxine botulique (TB) se situe au niveau de la jonction neuromusculaire, où elle inhibe la libération de l'acétylcholine. Après injection de TB, on observe une paralysie et une hypotonie (2). Le muscle devient atrophié, non palpable, mais anatomiquement il n'y a ni nécrose, ni fibrose, ni infiltrat inflammatoire. À distance de l'injection ou de l'arrêt des injections, le muscle récupère totalement sa morphologie et sa force.

Les données électrophysiologiques peuvent permettre de quantifier le déficit et donc l'action de la toxine botulique sur le muscle, mais elles reflètent mal le bénéfice clinique.

Les données expérimentales permettent de mieux comprendre le rôle de la réinnervation collatérale ou s*prouting*. En fait, l'idée initiale était que la jonction neuromusculaire restait bloquée de façon irréversible et que la récupération clinique s'effectuait simplement par la repousse axonale (*sprouting*). Ce mode de fonctionnement pouvait faire craindre, en cas d'injections répétées dans le temps, un épuisement progressif des capacités de réinnervation. Cliniquement, avec un recul de plus de 20 ans, cela n'a pas été observé. Expérimentalement, on a démontré récemment que le blocage de la jonction neuromusculaire n'était pas irréversible, que la néo-jonction neuromusculaire apparaît comme une véritable « roue de secours » qui est dégradée lorsque la jonction neuromusculaire primitivement bloquée redevient elle-même fonctionnelle (3). La récupération après injection de toxine est donc complète avec un retour au fonctionnement initial normal de la jonction neuromusculaire.

Les injections multisites

L'approche multisites des injections de TB au niveau des membres inférieurs dans le cadre d'une amélioration fonctionnelle a été largement démontrée (4, 5).

Concernant la démarche thérapeutique et le choix des muscles à injecter, la connaissance de la biomécanique de la hanche, du genou et de la cheville au cours des phases de la marche est indispensable : il est nécessaire d'évaluer l'enfant dans son ensemble, en analysant le tronc par rapport au bassin, à la hanche, au genou et au pied. Sur un ou

plusieurs niveaux, on ciblera les muscles qui sont les plus impliqués par rapport à l'objectif que l'on s'est fixé, en sachant que l'analyse est souvent complexe, compte tenu des co-contractions, des muscles bi-articulaires, de la relation inverse hypertonie-contrôle moteur, et du type d'hypertonie (tonique, phasique, mixte).

Dans cette approche, le cadre de l'autorisation de mise sur le marché (AMM) pour les injections de toxine botulique chez l'enfant IMC avec l'injection seule des gastrocnémiens s'est rapidement révélé insuffisant et parfois inapproprié. Si l'on souhaite une amélioration fonctionnelle, l'objectif sera le réalignement sagittal précoce dans une approche intégrée à multiples niveaux, sur une seule session, selon les principes décrits par l'équipe du Professeur Molenaers (4).

Le choix des sites d'injection dépend du résultat des bilans spécifiques, analytiques, fonctionnels et vidéo, selon une approche intégrée à multiples niveaux.

Les critères favorables au traitement par toxine botulique sont les suivants :
- la nécessité de conserver une continuité dans l'action thérapeutique afin de maintenir une logique d'amélioration du schéma moteur ;
- l'identification claire des objectifs du traitement, avec des bénéfices fonctionnels attendus précis ;
- la prédominance dynamique de l'atteinte, le bon *timing* (avant 7/8 ans) représentent les meilleures indications ;
- une stratégie multisites des injections avec adaptation des sites dans le temps ;
- l'adhésion et l'adaptation d'un appareillage et d'une rééducation adaptée après injection de toxine afin d'assurer l'efficacité du traitement ;
- une évaluation précise des résultats.

Les critères défavorables sont :
- des rétractions fixées importantes ;
- des instabilités articulaires, des déformations osseuses.

Les objectifs

Dans notre expérience, nous nous appliquons à atteindre deux objectifs précis :
- le réalignement sagittal. Il s'agit d'améliorer la stabilité au sol (en tentant notamment de ramener le talon au sol), avec comme hypothèse (dans les cas ou l'atteinte initiale prédomine en distal) que le traitement précoce de l'atteinte distale va permettre de limiter les compensations sus-jacentes, d'avoir un meilleur ajustement de la motricité proximale et une diminution des déformations sus-jacentes, et donc de rompre la logique d'effondrement ;
- l'équilibre frontal. Il s'agit de lutter très précocement contre les troubles rotationnels, en symétrisant le plus possible les appuis par le couplage toxine botulique / appareillage, afin de limiter la « structuralisation » de ces troubles rotationnels, qui sont un facteur déterminant dans l'aggravation fonctionnelle de l'enfant IMC.

Le premier objectif est le plus souvent atteint, car le *soleus* est faible : descente du talon au sol, stabilité, raréfaction des chutes. Par ailleurs, il est facilement objectivable par les parents et les thérapeutes. Par la suite, à moyen et à long terme, les niveaux sus-jacents sont plus difficile à améliorer : hypertonie de type tonique, appareillage plus contraignant

(mais indispensable pour diminuer le bras de levier du vecteur force sur les articulations) et plus difficile à objectiver.

L'amélioration sera progressive, objectivable par des thérapeutes avertis et sera notable à long terme avec :
– une stabilité fonctionnelle ;
– une diminution des interventions tendineuses pendant la petite enfance ;
– une limitation du geste chirurgical à long terme, notamment sur le plan osseux.

Ciblage et dosage

Les muscles concernés par les injections seront donc très divers selon le type d'atteinte : gasctrocnémiens, *soleus*, *tibialis posterior*, *tibialis anterior*, *peroneus longus*, *flexor digitorum longus pedis*, *semi tendinosus*, *semi membranosus*, *rectus femoris*, les faisceaux inférieurs *adductor magnus*, *gracilis*, *psoas iliacus*.

Les doses recommandées dans le cadre de l'AMM sont de 6 U/kg chez l'hémiplégique et de 8 U/kg chez le diplégique.

De nombreuses études internationales ont été réalisées avec des doses largement supérieures à ces recommandations (jusqu'à 20 U/kg) sans effets secondaires graves (4). Toutefois, la prudence doit rester de mise, compte tenu du fait que les effets secondaires sont certainement sous-estimés chez l'enfant : toux sèche, rhinopharyngite banale et souvent non répertoriée, trouble du comportement avec irritabilité (très fréquent) pouvant être en relation avec une hypotension orthostatique. Il est donc nécessaire de procéder par étape, en fixant des priorités sur les muscles à cibler et en sachant que des doses jusqu'à 10 ou 12 U/kg restent raisonnables, tout en ne dépassant pas 300 U par séance d'injection et 50 U par point d'injection.

Dans les atteintes importantes, il ne sera pas possible d'injecter des doses efficaces dans tous les muscles responsables de la gêne fonctionnelle. Il faudra donc mettre en place des stratégies dans le choix des muscles à injecter en établissant un ordre de priorité, en fonction de l'incidence de la spasticité sur la gêne fonctionnelle.

Après la fin de la période d'efficacité de la toxine, le gain résiduel sur l'extensibilité musculaire permet, lors de l'injection suivante, de diminuer ou de supprimer les doses sur certains des sites initialement sélectionnés pour les reporter sur de nouvelles cibles à doses efficaces. Les injections sont généralement renouvelées dans notre expérience tous les 6 à 8 mois. Les sites d'injection sont à réévaluer en permanence, en fonction du résultat de l'injection précédente et de l'évolution du schéma moteur. De plus, il est important de maintenir une continuité dans les injections pour obtenir une logique d'amélioration du schéma moteur.

Si la fourchette des doses en fonction du type de muscle est bien connue, en revanche, le repérage, le nombre de points par muscle en fonction de son type et de la morphologie, ainsi que la quantification de la dose en fonction de l'intensité de la spasticité ne sont pas codifiés.

En France, les travaux du Professeur Monnier et du Docteur Parratte font référence pour le repérage et le nombre de points d'injections pour certains muscles. Le repérage électromyographique en stimulation permet d'optimiser le traitement en ciblant

parfaitement le muscle à traiter et en se positionnant au mieux (réponse maximale pour une stimulation minimale), la détection donnant une idée de l'activité spastique.

Concernant les dilutions, aucune étude n'a mis en évidence chez l'enfant l'intérêt des dilutions sur le bénéfice clinique (6).

Évaluation multidimensionnelle

L'évaluation pré- et post-injection de toxine botulique est fondamentale : l'évaluation clinique doit être rigoureuse, complétée par les évaluations fonctionnelles, énergétiques et de qualité de vie.

Ces évaluations sont indispensables, car elles doivent permettre de :
– sélectionner les patients qui répondront le mieux au traitement ;
– adapter au mieux le traitement et présumer des résultats possibles en essayant de déterminer la part des problèmes (primaires, secondaires ou tertiaires), et préciser les limites du traitement ;
– fixer avec les parents des objectifs de traitement réalistes ;
– orienter les patients ayant dépassé le stade du traitement par injection de toxine vers des traitements plus adaptés ;
– déterminer les sites à injecter selon une approche à multiples niveaux en une seule session ;
– organiser le suivi rééducatif, indispensable après injection de toxine, en lien étroit avec les parents et les instituts qui s'occupent habituellement de l'enfant ;
– prévoir l'appareillage postural et fonctionnel post-toxine.

Bilan clinique

Chaque niveau de mobilité joue un rôle dans le bon déroulement de la marche : les bilans analytiques devront donc prendre en compte chaque niveau articulaire dans les trois plans de l'espace avec un bilan :
– articulaire goniométrique (mesure de l'angle de première tension et de l'amplitude articulaire maximale pour hanches, genoux et chevilles) ;
– musculaire (force, isolation motrice, déficit angulaire de motricité active). Certains muscles sont à tester précisément car ce sont de véritables facteurs pronostiques : les fessiers dont le *gluteus maximus* et les fléchisseurs de hanche. Lorsque la spasticité est de type phasique et qu'elle n'est pas associée à des limitations d'amplitude articulaire, il faut veiller à ne pas injecter des doses élevées de toxine sur certains muscles, notamment le triceps sural, pour lesquels la spasticité est le seul moyen de suppléer l'importante faiblesse sous-jacente et de lui permettre de remplir son rôle fonctionnel (propulsion pour le triceps);
– de la spasticité (selon Ashworth et Tardieu, test spécifique : Duncan Ely test) ;
– des troubles associés (dystonie…) [7] ;

– osseux (angle d'antéversion , torsion tibiale, longueur des membres inférieurs, ascension de rotule, cassure médiotarsienne).

La connaissance des schémas de marche décrits par Rodda et Graham chez l'hémiplégique et chez le diplégique (8) avec la dernière version incluant le groupe asymétrique et sub-normal est un fondamental pour répertorier et classer le *pattern* et proposer les sites à injecter.

Bilan fonctionnel

Pour les évaluations fonctionnelles, on dispose d'échelles globales, comme l'EMFG, mais qui ont souvent un effet plafond.

Analyse de la marche

L'Analyse Quantifiée de la Marche (AQM)

Le *Gold Standard* est représenté par l'analyse tri-dimensionnelle de la marche qui comporte toutefois des limites de réalisation :
– son utilisation est impossible chez l'enfant de moins de 6 ans, compte tenu de sa taille et de sa coopération aléatoire à cet âge, alors qu'il s'agit de la principale population concernée par les injections de toxine botulinique (entre 2 et 7 ans) ;
– la réalisation est également impossible pour des enfants marchant avec des aides techniques ;
– d'autre part, sa disponibilité reste limitée en France, et il s'agit d'un examen coûteux ;
– de plus, une étude récente a montré que la variabilité interobservateur dans l'analyse des résultats chez l'enfant IMC est importante (9). Toutefois, comme le rappelle le Professeur Gage dans un éditorial, il faut une bonne connaissance des IMC pour émettre de bonnes propositions, et il faut tenir compte des critères de bonne reproductibilité de cet outil.

L'analyse tridimensionnelle a permis de mieux comprendre les schémas de marche chez ces enfants et reste une méthode objective d'évaluation. En pratique clinique de routine, l'analyse visuelle fait partie intégrante de l'examen de l'enfant ambulant IMC. Des protocoles pour documenter la marche de façon visuelle ont été proposés, mais ils sont complexes et inutilisables dans un usage de routine clinique.

Il existe des échelles d'analyse visuelle de la marche : *Physician Rating Scale* (10), *Observational Gait Scale* (11, 12), *Edinburgh Visual Gait* (13). Les études ont montré que certaines échelles visuelles sont fiables, avec une bonne corrélation avec le *Gold Standard* (13).

Toutefois, dans le cadre de la détection d'un changement après injection de toxine chez les petits enfants, certaines améliorations souvent constatées en pratique clinique ne sont pas rapportées dans les critères d'évaluation de ces échelles. L'analyse vidéo chez le jeune enfant reste simple, disponible, peu coûteuse, et permet un bilan qualitatif et quantitatif de la marche quand on a une absence de *Gold Standard* ou lorsque l'on étudie des petits enfants (de moins de 6 ans).

Analyse vidéographique

Nous avons développé une analyse vidéographique à partir de critères fonctionnels en nous appuyant sur les principes du Pr Gage, qui a proposé une subdivision fonctionnelle du cycle de la marche en cinq priorités hiérarchisées en fonction de leur importance, nécessaire pour avoir une marche efficiente, à savoir :

1) bon prépositionnement du pied à l'attaque du pas ;
2) bonne stabilité du membre inférieur à la phase d'appui ;
3) liberté du passage du pas à la phase oscillante ;
4) longueur du pas suffisante ;
5) conservation d'énergie faisant référence à la capacité fonctionnelle ou à l'endurance réduite de ces sujets qui présentent une marche pathologique.

Dans chacune de ces priorités, nous avons développé des items (11 items qualitatifs et 6 items quantitatifs) spécifiques à la marche de ces enfants.

Le protocole de réalisation de la vidéo est strict : il se déroule sur une heure, dans une salle spécifique, suffisamment longue et large pour permettre l'analyse d'au moins trois cycles de marche à vitesse constante (hors phase de démarrage et de freinage), de face et de profil, selon des plans déterminés, avec standardisation des distances. Ces conditions techniques sont rigoureuses afin de limiter les effets d'axes d'optique. La caméra est en point fixe, réglée en fonction de la taille de l'enfant, avec des cibles visuelles des plans prédéterminés, globaux et rapprochés, sagittaux et frontaux.

Pour les paramètres quantitatifs, des mesures goniométriques sont faites à partir d'arrêts sur image. Les observateurs visualisent deux allers-retours et choisissent les plans qui leur paraissent les plus adéquats pour leur analyse. Les observateurs doivent être entraînés à l'analyse vidéographique de ces enfants. L'analyse se fait séparément pour le pied gauche et droit, puisqu'elle nécessite une cotation de tous les items pour les deux membres.

Dans les cinq priorités rapportées par Gage, les items développés spécifiques à la marche des enfants IMC sont les suivants :

Bon prépositionnement du pied à l'attaque du pas

Aspect normal : le bon prépositionnement du pied nécessite en fin de phase oscillante un genou en sub-extension et un équin de la tibio-tarsienne peu marqué. Ce positionnement est indispensable pour le bon déroulement de la phase d'appui, puis le contact initial du pied se fait par le talon.

Critères observés : on note l'angle de flexion dorsale du pied et du genou (en degré au goniomètre) à l'attaque et le contact du pied au sol s'il se fait par les orteils, l'avant-pied, le plat du pied ou le talon.

Stabilité du membre inférieur à la phase d'appui

Aspect normal : la stabilité du membre inférieur à la phase d'appui est liée à :

– la qualité de l'alignement sagittal en milieu de phase d'appui, c'est-à-dire lorsque la hanche passe à la verticale de l'axe bi-malléolaire, ce qui nécessite un verrouillage du genou sans fatigue tendu ;

– la stabilité du pied au sol, pied à plat avec un talon au contact du sol. Cette stabilité influencera la qualité du pas oscillant contro-latéral ;
– l'efficacité du moyen fessier pour éviter la chute du bassin ;
– l'absence de rotation interne ou externe excessive des segments fémoraux et tibiaux ;
– l'absence d'inclinaison frontale du tronc.

Critères observés : la phase d'appui est définie au moment où le grand trochanter passe à la verticale de l'axe bi-malléolaire.

Sur le plan sagittal on note :
– l'angulation fémoro-tibiale (en degré au goniomètre) au moment où la hanche passe à la verticale de l'axe bi malléolaire ;
– si le pied est talon au sol, ou reste sur l'avant-pied ou sur les orteils.

Sur le plan frontal, on note :
– en milieu de phase d'appui, s'il y a une chute du bassin du côté opposé à l'appui, évaluée sur une échelle ordinale (importante moyenne ou faible à nulle) ;
– s'il existe une rotation interne des genoux, évaluée sur une échelle ordinale ;
– l'angle de progression du pied (s'il est en rotation interne ou externe prononcée ou normale) ;
– si l'inclinaison du tronc est du côté oscillant ou portant ou s'il n'y a pas d'inclinaison quand il est en appui à droite et quand il est en appui à gauche ;
– s'il existe un volant de rotation du bassin postérieur droit ou postérieur gauche ou si le bassin est équilibré.

Les critères étudiés dans le plan frontal seront vérifiés de face et de dos.

Liberté du passage du pas à la phase oscillante

Aspect normal : la qualité de la phase oscillante influencera le bon prépositionnement du pied lors de l'attaque au sol. Cette liberté du passage du pas est liée à :
– l'absence d'accrochage du pied au sol ou contre le membre inférieur controlatéral ;
– l'absence de rotation fémorale et tibiale marquée du membre inférieur oscillant, pouvant entraîner un accrochage du pied sur le membre inférieur portant.

Critères observés :
– on note s'il y a un accrochage du pied ou si l'enfant passe avec ou sans compensation sur l'ensemble de la phase oscillante ;
– l'arrêt sur image à la phase oscillante est déterminé lorsque le membre inférieur en milieu de phase oscillante croise le membre inférieur portant. Cet arrêt sur image permet de noter l'angulation de flexion du genou et l'angulation de flexion dorsale du pied (mesures goniométriques) ;
– sur le plan frontal, on note s'il existe un accrochage des genoux, un entrecroisement des membres inférieurs ou si le passage est normal.

Longueur du pas suffisante

Aspect normal : l'extension de hanche en fin de phase d'appui marque le passage du fémur en arrière de la verticale de la hanche et détermine la longueur du pas.

Critères observés :
– si au niveau de la hanche, le fémur est en avant, en arrière ou à la verticale en fin de pas portant ;
– l'angulation du genou en fin de pas portant ;
– l'inclinaison sagittale du tronc, si l'enfant est en déséquilibre antérieur prononcé ou en déséquilibre modéré ou sans déséquilibre.

La conservation d'énergie
Une vitesse minimale est requise pour la bonne conservation de l'énergie. L'évaluation de la vitesse est plus facilement objectivée avec des tests chronométrés de marche, même si la vidéo permet d'observer l'aisance du déplacement.

Reproductibilité inter- et intra-observateur
La reproductibilité inter- et intra-observateur de cette analyse vidéographique de la marche a été étudiée, afin de détecter des changements spécifiques après injection de toxine botulique chez le petit enfant (14). Les résultats sont rapportés ci-dessous.

Tableau I - Reproductibilité intra-observateur (K = kappa).

Bon préposition-nement du pied à l'attaque du pas	Contact du pied K = 0,728	Angle de flexion dorsale du pied K = 0,557	Angle de flexion du genou K = 0,608				
Stabilité du membre inférieur à la phase d'appui	Pied K = 0,762	Angle de progression du pied K = 0,706	Angle de flexion du genou K = 0,542	Adduction de hanche K = 0,03	Rotation interne du genou K = 0,441	Rotation du bassin K = 0, 04	Inclinaison frontale du tronc K = 0,510
Liberté du passage du pas	Accrochage K = 0,485	Angle de flexion dorsale du pied K = 0,628	Angle de flexion du genou K = 0,094	Adduction entrecroi-sement K = 0,317			
Longueur du pas satisfaisante	Fémur K = 0,582	Inclinaison sagittale du tronc K = 0,470	Flexion de genou K = 0,448				

Tableau II - Reproductibilité interobservateurs.

Bon prépositionnement du pied à l'attaque du pas	Contact du pied K = 0,863	Angle de flexion dorsale du pied K = 0,357	Angle de flexion du genou K = 0,398				
Stabilité du membre inférieur à la phase d'appui	Pied K = 0,805	Angle de progression du pied K = 0,793	Angle de flexion du genou K = 0,410	Adduction de hanche K = 0,455	Rotation interne du genou K = 0,396	Rotation du bassin K = 0, 588	Inclinaison frontale du tronc K = 0,502
Liberté du passage du pas	Accrochage K = 0,564	Angle de flexion dorsale du pied K = 0,274	Angle de flexion du genou K = 0,271	Adduction entrecroisement K = 0,594			
Longueur du pas satisfaisante	Fémur K = 0,619	Inclinaison sagittale du tronc K = 0,4548	Flexion de genou K = 0,494				

Sensibilité au changement

Nous avons testé la capacité de ces critères à détecter un changement après traitement par injection répétée de toxine botulique (moyenne : 2,9 injections) aux membres inférieurs chez le petit enfant IMC (un an avant et un an après) (14). La population étudiée comprenait 20 enfants IMC (18 diplégiques, 2 hémiplégiques, 10 marchant avec aide technique, âge moyen en début de traitement 4,8 ans).

Tous les enfants ont eu d'emblée des injections multisites, plus de la moitié (55 %) ont eu des modifications des sites injectés en fonction des résultats obtenus après chaque injection.

Les sites les plus souvent injectés étaient le triceps sural et les ischio-jambiers. La dose moyenne injectée était de 8 U/kg pour la toxine botox.

L'appareillage post-injection était standardisé avec pour 94 % des enfants le port d'attelles nocturnes, pour 94 % le port d'attelles fonctionnelles de jour, tandis que 75 % ont bénéficié de plâtres de réduction progressif d'équin.

Les vidéos réalisées à J0 et à un an ont été analysées selon l'analyse vidéo décrite s'appuyant sur les critères fonctionnels du Professeur Gage.

Le test statistique utilisé était le test de Mac Nemar testant le nombre de membres inférieurs ayant progressé sur le nombre de membres ayant régressé.

Les items sont considérés comme sensibles si p est inférieur à 0,05.

Rubrique « Stabilité du membre inférieur à la phase d'appui »

Bonne sensibilité des items contact du pied au sol et adduction de hanche ($p < 0,05$). Tous les autres items (angle de progression du pied, angle de flexion de genou, inclinaison frontale du tronc) n'ont pas été sensibles.

La majorité des enfants ont en fait stagné sur ces items (54,05 % pour l'inclinaison frontale du tronc, 62 % pour l'angle de progression du pied, 43 % pour l'angle de flexion de genou), l'échelle n'étant certainement pas assez sensible. Par exemple, pour l'item angle de progression du pied, la cotation entre rotation interne prononcée et normale est insuffisante. Il en est de même pour l'inclinaison frontale du tronc, où la cotation est insuffisante entre inclinaison et absence d'inclinaison. À noter également que pour l'item flexion de genou à la phase d'appui, 16 % des enfants ont même présenté une régression au niveau des angulations.

L'aggravation de flexion du genou en milieu de phase d'appui (avec un effondrement en triple flexion après les injections pour 16 % des enfants) peut s'expliquer par plusieurs éléments :

– un défaut d'injection des ischio-jambiers d'emblée (en France l'AMM n'est accordée que pour l'injection des gastrocnémiens, et les équipes qui nous adressaient des enfants étaient réticentes aux injections d'emblée des ischio-jambiers) ;
– une confusion dans l'analyse entre *apparent equinus* et *true equinus*, une faiblesse des fléchisseurs plantaires sous-évaluée ;
– une trop faible dose de toxine botulique au niveau des ischio-jambiers (en multisites, compte tenu des déficiences, une dose totale de 8 U/kg est insuffisante) ;
– le changement de statut fonctionnel pour certains enfants, qui ont abandonné les aides techniques, avec une modification importante des équilibres, un défaut d'apprentissage du verrouillage du genou (dans ce cadre, les orthèses jouent un rôle fondamental).

Il est important de souligner que trois enfants ont modifié leur statut fonctionnel au cours de ce suivi, trois autres ont abandonné les aides techniques, et quatre autres ont évolué d'une marche non fonctionnelle vers un déplacement avec aide technique.

En ce qui concerne les items angle de progression du pied et inclinaison frontale du tronc, ceux-ci n'ont pas été sensibles au changement, alors que les vidéos mettaient en évidence une évolution. Cela s'explique par le fait que l'échelle ordinale utilisée n'était pas assez sensible. Par exemple, pour l'angle de progression du pied, la cotation entre rotation interne prononcée normale ou la rotation externe est insuffisante. En effet, de nombreux enfants présentaient une amélioration de la rotation interne, sans qu'elle soit devenue normale, mais le score ne bouge pas. Il en est de même pour l'inclinaison du tronc, où l'échelle ordinale aurait mérité un critère intermédiaire supplémentaire.

Rubrique « Liberté du passage du pas »

Les items n'ont pas été modifiés significativement (accrochage, angle de flexion du genou), seul l'item angle de flexion dorsale du pied a montré un changement significatif ($p = 0,000$) ainsi que l'item adduction entrecroisement. Toutefois, pour l'accrochage du pas, en réalité 70 % des enfants ont stagné. Cela peut s'expliquer par une rééducation insuffisante sur les antagonistes (releveurs du pied), soit, et surtout, par le défaut de rapi-

dité de mise en jeu des fléchisseurs dorsaux, qui est insuffisante en début de phase oscillante, d'autant plus que la marche est rapide. Par contre, en milieu de phase d'appui, le recrutement est correct, avec un manque de flexion dorsale du pied qui s'est significativement modifié. Graham et Boyd ont déjà rapporté ces éléments et soulignent que le gain articulaire acquis après des injections de toxine n'entraîne pas nécessairement un gain fonctionnel immédiat.

Rubrique « Bon prépositionnement du pied à l'attaque du pas »

Nous avons assisté à une modification significative de tous les items un an après des injections répétées de toxine botulique (attaque du pied, angle de flexion dorsale du pied et angle de flexion du genou significativement améliorés [figs. 1 et 2] avec un $p < 0,05$).





Figs. 1 et 2 - Modifications de la cinématique articulaire lors de la marche avant et après toxine botulique.

Rubrique « Longueur du pas suffisante »

L'ensemble des items ont été sensibles (modifications significatives sur l'inclinaison sagittale du tronc, la flexion de genou et la passage du fémur en arrière de la verticale [$p = 0,004$]).

Dans notre étude, nous avons optimisé les conditions pour rendre fiable l'évaluation visuelle de la marche en utilisant des enregistrements vidéo avec ralenti, arrêt sur image, plans rapprochés et deux groupes de deux expérimentateurs aguerris à l'analyse vidéo de ces enfants.

Les premiers résultats, en vue de valider l'analyse vidéo à partir des critères fonctionnels décrits dans l'étude, sont très encourageants, car il s'agit d'une analyse difficile chez des enfants jeunes avec une marche immature, irrégulière et rapide, une majorité de diplégiques et la moitié d'entre eux marchant avec des aides techniques.

L'étude montre que 12 items sur 17 présentent une bonne reproductibilité interobservateurs (excellente ou bonne : 4 sur 17 ; modérée : 8 sur 17). Les critères les moins reproductibles sont ceux faisant intervenir les secteurs angulaires (flexion dorsale du pied et du genou à l'attaque et au passage du pas). Les critères d'évaluation du plan

frontal (rotation interne du genou en milieu de phase d'appui) sont également peu reproductibles, ce qui est classiquement rapporté dans la littérature.

Globalement, 9 items sur 17 présentent une bonne reproductibilité intra- ou interobservateurs, ce qui est très acceptable. Cependant, la reproductibilité interobservateurs pourrait être améliorée pour les mesures angulaires (en affinant le protocole d'analyse, en affinant encore les définitions à attribuer aux séquences et aux participants impliqués).

D'autre part, on peut également expliquer les résultats pour les mesures angulaires par le nombre de séquences par seconde obtenus lors d'un enregistrement vidéo (en moyenne : 15). Ainsi, la pause réalisée, par exemple au moment du contact initial, pouvait se trouver au moment de la prise entre deux séquences, ce qui a compliqué l'analyse. Une caméra avec une puissance d'enregistrement plus performante serait une solution.

En ce qui concerne les items du plan frontal, l'amélioration de la reproductibilité passe peut-être par la mise en place de marqueurs sur le bassin et la rotule et, d'une façon plus générale, par l'enregistrement simultané par deux caméras.

L'analyse du plan frontal nous semble intéressante à maintenir même si cette analyse, dans la littérature, est rapportée comme non fiable. En effet, dans le cadre précis de l'évaluation des petits IMC, les troubles rotationnels ne sont pas encore majeurs et les éléments sont surtout dynamiques, avec peu d'éléments structurels. C'est pourquoi, l'évaluation visuelle peut être valide dans ces cas.

Ainsi, cette analyse vidéo à partir de critères fonctionnels semble intéressante. L'amélioration des conditions de réalisation (deux caméras, marqueurs sur bassin et rotule) et d'interprétation (augmentation des séquences par seconde, protocole d'analyse encore plus précis) devrait pouvoir affiner encore certains items les moins reproductibles.

Il est illusoire de vouloir utiliser cette échelle et de la valider dans d'autres pathologies. À l'intérieur même de la pathologie des IMC, les outils doivent être appropriés en fonction du stade d'évolution. En effet, cette échelle d'analyse vidéo est adaptée aux petits enfants IMC, afin d'évaluer les changements survenus après injection de toxine. En revanche, elle ne sera en aucun cas suffisamment pertinente chez les enfant de plus de 8 ans, chez lesquels les problèmes structurels sont installés, rendant l'analyse plus complexe, notamment sur le plan frontal.

Un score de marche est en cours de développement, avec la nécessité de pondérer les différents critères par rapport à leur importance dans la marche. Il est nécessaire également de définir un score moyen pour que la population se répartisse autour de ce score. Enfin, des études de corrélation avec la satisfaction des familles et la qualité de vie, finalité de tout projet thérapeutique médical, devront être réalisées.

Approche interdisciplinaire

Le traitement par injection de toxine botulique doit être utilisée selon une approche interdisciplinaire : il est indispensable d'associer aux injections un protocole de prise en charge kinésithérapique avec, en fonction des besoins, la mise en place d'appareillage fonctionnel et postural.

Rééducation

La rééducation devra prioritairement s'attacher à récupérer les secteurs de mobilité articulaire (problèmes secondaires), avant de rechercher une amélioration de la motricité (problèmes primaires) et un contrôle des stratégies compensatoires (problèmes tertiaires) [15].

La lutte contre les problèmes secondaires consiste à contrôler la visco-élasticité musculaire : raideur musculaire sans rétraction.

Il faut profiter de la période d'efficacité de la toxine pour intensifier les étirements des muscles injectés. Le traitement des limitations d'amplitudes va se faire par :
– des plâtres successifs de réduction d'équin (afin de récupérer des amplitudes de flexion dorsale du pied), réalisés au maximum d'efficacité de la toxine botulique, c'est-à-dire à un mois pour une durée de 15 jours maximum afin d'obtenir un gain sur l'extensibilité musculaire et non pas sur le tendon ;
– des résines cruro-malléolaires bivalvées pour la récupération de longueur des adducteurs, des ischios-jambiers et des psoas par des postures spécifiques.

Après avoir récupéré les secteurs de mobilité, il faut rendre aux muscles la capacité de les exploiter et pour cela :
– équilibrer la force agonistes/antagonistes par un travail analytique des muscles antagonistes aux muscles injectés dans les secteurs articulaires libérés, et par un renforcement musculaire en position courte avec l'aide, si nécessaire, de schémas facilitateurs ;
– améliorer la sélectivité de la commande motrice par la recherche d'un mouvement isolé et dissocié exploitant l'amplitude maximale du mouvement, avec pour conséquence une facilitation de la corticalisation du mouvement.

La rééducation est essentielle pour améliorer l'équilibre debout, dont l'apprentissage passe par la suppression des appuis sur les membres supérieurs ainsi que par le placement et les transferts corrects du centre de gravité par rapport aux appuis des pieds au sol. L'éducation des transferts d'appui et de la dissociation du mouvement des membres inférieurs et des ceintures passe par des exercices spécifiques tels que ceux proposés par Le Métayer.

Les exercices de marche guidée induisent un déplacement plus normal du centre de gravité, tant dans le plan frontal que sagittal, ainsi qu'une adaptation des mouvements des ceintures influençant favorablement le déroulement du pas. Ils sont réalisés autant que possible sans aide technique.

Le travail de la marche sur tapis roulant vise la correction des défauts de marche à vitesse lente, puis de plus en plus rapide, notamment le contrôle de l'inclinaison sagittale du tronc, le « talonnage » et l'absence d'accrochage du pied lors de la phase

oscillante. Cependant, ce travail est rarement adapté aux plus petits, car la vitesse de marche minimale du tapis roulant est trop élevée et les barres latérales de maintien ne sont pas réglables.

De nombreux exercices fonctionnels contribuent à travailler les transferts d'appui, la dissociation des mouvements et la force musculaire, comme par exemple les enjambements, la montée et la descente des escaliers, le stepper (réservé aux plus grands), le tricycle...

La lutte contre les problèmes tertiaires (compensations mises en jeu pour suppléer les déficits initiaux) concerne autant la statique (équilibre debout) que la dynamique (marche) avec l'objectif d'équilibrer l'enfant en position debout statique dans les trois plans de l'espace (à l'aide de l'appareillage fonctionnel, des aides techniques, de la rééducation) et d'améliorer la qualité, l'autonomie et l'endurance à la marche.

Appareillage

L'appareillage de posture a été développé plus haut (plâtres réduction équin, résines cruromalléolaires).

L'appareillage de nuit de type attelles mollet-plante nocturnes, rigides si la spasticité est égale ou supérieure à 3 (Ashworth) ou avec possibilité de réglage progressif en flexion dorsale, assure une continuité de la posture d'étirement des soléaires.

L'appareillage fonctionnel de jour doit permettre d'équilibrer la statique de l'enfant dans les trois plans de l'espace.

L'attelle jambière est l'appareillage fonctionnel le plus couramment utilisé. La qualité de son adaptation nécessite une bonne connaissance du pied, des propriétés des matériaux utilisés, de l'analyse de la marche et de la tendance évolutive de la pathologie.

De nombreux types d'attelles sont utilisés, chacune a ses indications précises qu'il est nécessaire de bien connaître, mais que nous ne développerons pas ici (l'attelle antérieure polyéthylène, l'attelle mollet-plante à lame carbone souple, l'attelle antéro-postérieure à lame carbone semi-rigide...).

Quel que soit le type d'attelle choisie, le réglage de la bascule tibiale est essentiel, car il va conditionner l'équilibre sagittal de l'enfant en station bipodale et le déroulement du pas lors de la marche (figs. 3, 4 et 5).





Figs. 3, 4 et 5 - Le réglage de la bascule tibiale est essentiel, puisqu'il participe à rompre la logique d'effondrement en triple flexion.

Ce réglage empêche :

– de déverrouiller le genou en phase d'appui unipodal ou en position statique bipodale par une correction de l'équin au-delà de 0° qui entraînerait une bascule tibiale antérieure trop prononcée ;
– de provoquer un déséquilibre arrière par un équin insuffisamment compensé.

Ce réglage est fonction de la résultante de la rigidité de l'attelle, des limitations d'amplitudes articulaires, des tensions musculo-aponévrotiques et du poids de l'enfant.

Le dérotateur souple de Madame Reydelet (prix du CDI en 1999) vise l'amélioration des troubles rotationnels fémoraux (fixation des bandes de dérotation sur des genouillères) ou fémoraux et tibiaux (fixation des bandes de dérotation sur la partie haute des attelles jambières). Il est indiqué chez le jeune enfant (de moins de 8 ans).

Cet appareillage doit être évolutif, de manière à suivre la progression de l'équilibre tonique de l'enfant, optimiser ses performances de déambulation et lutter au maximum contre la logique d'effondrement.

Chez le jeune enfant, compte tenu de l'immaturité de la coordination entre les membres supérieurs et inférieurs, l'aide technique la plus fréquemment utilisée est le cadre de marche. Il n'est pas exceptionnel que l'enfant passe directement d'une marche en cadre à une marche sans aide technique.

Le choix du cadre va conditionner l'équilibre antéro-postérieur de l'enfant lors de la marche :

– le cadre antérieur n'est pas recommandé, car il favorise la propulsion au détriment de l'équilibre sagittal avec une répartition notable du poids du corps sur les membres supérieurs ;
– le cadre postérieur induit un équilibre sagittal généralement plus satisfaisant, avec une plus grande décharge des membres supérieurs. La disparition de l'aide technique du champ de vision stimule les réactions de redressement, favorise le travail de l'équilibre et la progression vers une marche sans aide technique

Conclusion

Même si l'observation réalisée d'après l'analyse vidéo est incomplète et moins précise que l'analyse quantifiée de la marche, elle apporte cependant des renseignements précieux pour un coût modique et une plus grande facilité de mise en œuvre, en particulier pour les plus petits qui représentent la majorité de notre population.

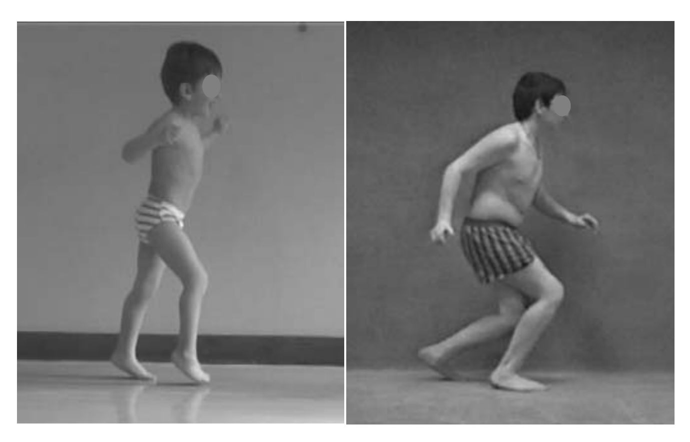
La mise en route d'un traitement par toxine botulique nécessite une équipe pluridisciplinaire ayant une expérience confirmée dans le suivi d'enfants IMC.

La toxine est une aide indispensable dans la prise en charge thérapeutique de l'enfant IMC. Elle favorise et accélère la progression fonctionnelle du jeune enfant et limite les dégradations orthopédiques.

C'est le jeune enfant IMC qui retire généralement le meilleur profit des injections de toxine botulique, avant que ne s'installent les rétractions musculaires, les déformations articulaires et osseuses. Ces dernières sont à l'origine de troubles rotationnels

irréversibles qui accélèrent l'aggravation fonctionnelle. La chirurgie multisites est alors le seul traitement efficace.

La rééducation de l'enfant IMC, en vue d'obtenir une déambulation efficace et de qualité, est une véritable course contre la montre : plus l'enfant grandit, plus il se raidit ; plus il prend du poids, plus il s'effondre (figs. 6 et 7) ; plus il se déforme et moins il sera performant fonctionnellement (16). La prise en charge rééducative associée aux injections de toxine botulique permet de rompre ce cercle vicieux, dégageant ainsi de nouvelles perspectives d'amélioration fonctionnelle.



Figs. 6 et 7 - Effondrement en charge de l'IMC lors de la croissance pubertaire.

Références

1. Gage JR (1991) Gait analysis in cerebral palsy clinics. London : Mac Keith Press
2. Chaléat-Valayer E, Vial C (2002) Mode d'action de la toxine botulique. Spasticité ; 4: 17.S
3. Meunier FA, Schiavo G, Molgo J (2002) Botulinum neurotoxins: from paralysis to recovery of functional neuromuscular transmission. J Physiol Paris ; 96 (1-2): 105-13
4. Molenaers G, Desloovere K, Eyssen M, De Cat J, Jonkers I, De Cock P (1999). Botulinum toxin type A treatment of cerebral palsy : an integrated approach. Eur J Neurol ; 6 (suppl 4) : S51-S57
5. Boyd R, Graham HK (1997) Botulinum toxin A in the management of children with cerebral palsy : indication and outcome. Eur J Neuro l; 4 (suppl 2) : S15-S22
6. Lee LR, Chuang YC (2004). Botulinum toxin for lower limb spasticity in children with CP a single blinded trial comparing dilution techniques. Am J Phys Med Rehabil ; 83 (10): 766-73
7. Boyd RN, Graham HK (1999) Objective measurement of clinical findings in the use of botulinum toxin type A for the management of children with cerebral palsy. Eur J Neurol ; 6 (suppl 4): S23-S35
8. Rodda J, Graham HK (2001) Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia : a basis for a management algorithm. Eur J Neurol ; 8 (suppl 5) : 98-108

9. Noonan KJ, Halliday S, Browne R *et al.* (2003) Interobserver variability of gait analysis in patients with cerebral palsy. J Pediatr Orthop ; 23 (3): 279-87
10. Lord SE, Halligan PW, Wade DT (1998). Visual gait analysis : the development of a clinical assessment and scale. Clin Rehabil ; 12 (2): 107-19
11. Mackey AH, Lobb GL, Walt SE *et al.* (2003) Reliability and validity of the Observational Gait Scale in children with spastic diplegia. Dev Med Child Neurol ; 45 (1): 4-11
12. Boyd RN, Graham H (1999) Objective measurement of clinical findings in the use of botulinum toxin type A for the management of children with cerebral palsy. Eur J Neurol ; 6 (suppl 4): S23-S35
13. Read HS, Hazlewood ME, Hillman SJ *et al.* (2003) Edinburgh visual gait score for use in cerebral palsy. J Pediatr Orthop ; 23 (3): 296-301
14. Chaléat-Valayer E, Bernard JC, Schneider M *et al.* (2004) Intérêt de l'examen vidéographique dans l'analyse des résultats des injections de toxine botulinique au niveau des membres inférieurs chez l'enfant IMC. Lettre Med Phys Réadapt ; (70) : 20-2
15. Morel E, Bernard JC, Chaléat-Valayer E *et al.* (2004) Injections multisites de toxine botulique chez l'enfant Infirme Moteur Cérébral : rééducation et appareillage (à partir de l'expérience du service enfants du Centre des Massues). Kinésither Ann ; (32-33): 28-36
16. Bell K J, Ounpuu S, DeLuca P *et al.* (2002) Natural Progression of gait in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop; 22(5): 677-82

Aide de l'analyse quantifiée de la marche (AQM) dans la prise en charge chirurgicale de l'IMC marchant ou déambulant

G.-F. Penneçot

Introduction

L'AQM est pour beaucoup un examen qui reste entouré d'un certain mystère et qui devrait permettre de comprendre et de traiter de façon quasi infaillible les anomalies de la marche de l'enfant IMC. Cette vision est fausse, c'est un examen complémentaire (il ne peut à lui seul résoudre tous les problèmes), qui participe avec l'examen clinique à la compréhension des phénomènes responsables des anomalies de la marche de l'enfant IMC.

L'utilisation d'un laboratoire d'étude de la marche a permis à ses utilisateurs de parfaitement comprendre le déroulement du cycle de marche et les phénomènes physiques qui régissent son bon déroulement, ainsi que de modifier notre façon d'observer la marche, notamment en ayant une vision globale des temps importants du cycle de marche.

L'AQM comporte :

– un enregistrement vidéo parfaitement codifié. L'utilisation du ralenti et de l'avancée image par image est d'une aide précieuse ;
– des données générales utiles pour juger de l'évolution ;
– une étude cinématique qui fournit des données objectives quant aux amplitudes articulaires dans les trois plans de l'espace tout au long du cycle de marche. Ce n'est que la traduction en chiffres et en courbes de ce que l'on voit lors du déroulement du cycle de marche ;
– un enregistrement électromyographique de certains muscles ou groupes musculaires au cours du cycle de marche ;
– un enregistrement des données cinétiques (les forces) ce que l'on pourrait traduire de façon simpliste par l'étude des conséquences de la force de pesanteur sur les articulations du membre inférieur portant.

EMG et étude cinétique sont des éléments qui permettent de comprendre les causes des anomalies du déroulement du cycle de marche. L'association examen clinique complet, EMG et cinétique permettent de comprendre la presque totalité des causes responsables des anomalies.

Les objectifs de l'AQM

Compte tenu de cette introduction, on comprend que l'AQM a plusieurs objectifs :
- identifier les différentes anomalies cinématiques survenant au cours du cycle de marche ;
- identifier certaines causes de ces anomalies ;
- être un examen de référence avec des données objectives pouvant être comparé à un autre examen ultérieur pour juger des modifications éventuelles survenant au cours de l'évolution spontanée ou après une thérapeutique de quelque nature que ce soit.

Identification des différentes anomalies au cours d'un cycle de marche

- L'étude des courbes de cinématique va permettre d'identifier les anomalies à différents temps (contact initial, milieu d'appui, phase oscillante).
- Cette étude se fait dans les trois plans de l'espace.
- Pour ceux qui en ont l'habitude, elle ne fait que confirmer ce que l'on observe sur l'enregistrement vidéo, pour les autres elle nécessite un temps d'analyse pour chacune des courbes fournies.
- Cette étude se termine par l'identification d'un certain nombre d'anomalies qu'il faut maintenant expliquer.

Identifier les causes des anomalies cinématiques

- EMG et cinétique ne sont alors que des éléments du raisonnement et de la recherche au même titre que l'examen clinique.
- Rappelons que l'on distingue des anomalies primaires (en rapport avec la lésion cérébrale : faiblesse musculaire, spasticité, trouble de l'équilibre, trouble de la sélectivité….), des anomalies secondaires (rétractions et vices architecturaux) et des anomalies tertiaires (compensations).
- En phase oscillante une anomalie cinématique peut être due à :
  - un vice architectural ;
  - une rétraction ;
  - une faiblesse musculaire ;
  - une activité musculaire anormale (trouble de commande ou spasticité) ;
  - une vitesse de déplacement insuffisante.
- En phase d'appui les mêmes éléments peuvent être responsables mais il faut y ajouter une anomalie de positionnement du vecteur force de réaction au sol (en simplifiant l'influence de la pesanteur sur le membre portant).

Il apparaît clairement qu'il est nécessaire d'associer examen clinique et AQM pour avoir le maximum de chance de comprendre la cause des différentes anomalies identifiées.

L'examen clinique nous renseigne sur :
- la présence de rétraction ;
- les vices architecturaux ;

– la force musculaire ;
– l’importance de la spasticité.

L’AQM nous renseigne sur :
– le *timing* de l’activité musculaire ;
– la position du vecteur force de réaction par rapport aux centres de rotation articulaire.

L’association de tous ces éléments nous permet de comprendre et d’identifier la majorité des causes responsables des anomalies répertoriées. Seuls sans doute les phénomènes de compensation liés à un mécanisme volontaire sont difficilement identifiables.

L’analyse étant terminée il ne reste plus qu’à trouver les solutions thérapeutiques les plus adaptées.

Un examen de référence

Au cours de l’évolution spontanée, la comparaison des données cinématiques peut permettre d’objectiver une évolution. Une dégradation peut pousser à la décision chirurgicale.

Après un acte chirurgical, la comparaison des données permet d’évaluer les améliorations obtenues. Cela est sûrement moins simple qu’il n’y paraît. On peut certes utiliser une évaluation globale (*Normalcy Index* passant par des calculs complexes). On peut également étudier l’amélioration obtenue à différents temps du cycle de marche. Ce n’est plus une évaluation globale, mais une évaluation se rapportant plus aux critères de Gage :
– stabilité à l’appui ;
– liberté du passage du pas ;
– bon prépositionnement à l’attaque du pas ;
– longueur du pas.

Conclusion

Au total l’AQM est un examen que je considère comme indispensable en termes d’évaluation et comme très souhaitable dans le cadre du choix thérapeutique chirurgical. Sa pratique régulière a surtout permis aux équipes qui l’utilisent de mieux comprendre les phénomènes en cause. La façon d’examiner ces enfants en a été profondément modifiée, ce qui est à mon sens le fait le plus important.

Rééducation après chirurgie fonctionnelle multi-sites de lutte contre la triple flexion chez des enfants IMC marchant ou déambulant. Analyse statistique des résultats à court et moyen terme

J.-C. Bernard, É. Morel, É. Loustalet, R. Bard, A. Pujol, P. Adelen et A. Milioni.
Avec la participation de : E. Chaléat-Valayer, M. Schneider et M. Bagnol

Introduction

Ce travail expose :

– le protocole de rééducation postopératoire appliqué depuis 1999 au Centre Médico-Chirurgical de Réadaptation des Massues en service de rééducation pédiatrique dans la prise en charge de 51 enfants et adolescents Infirmes Moteurs Cérébraux après une chirurgie de lutte contre la triple flexion (1) ;
– une étude statistique sur les résultats d'un certain nombre de paramètres mesurés en préopératoire et en fin de séjour, à partir des 30 premiers dossiers d'enfants opérés reçus de 1999 à 2003.

Ces patients ont tous été opérés par la même équipe chirurgicale, du service de chirurgie orthopédique infantile du Professeur J. Bérard et du Docteur F. Chotel, de l'hôpital Debrousse du CHU de Lyon.

Avant d'être opérés, tous les patients font l'objet d'un bilan par la même équipe, coordonnée par le Docteur C. Bérard, au centre de jour de rééducation pédiatrique de l'Escale, à l'hôpital Lyon Sud. Les enfants sont recrutés par les services de l'Escale et de l'hôpital Debrousse.

L'unité de lieu de ces bilans assure une cohésion dans les informations recueillies, indispensable pour cibler le plus justement possible les gestes chirurgicaux.

Les bilans sont discutés en consultation multidisciplinaire à l'Escale, en présence de l'équipe de l'hôpital Debrousse qui va prendre en charge l'acte chirurgical retenu, ainsi que le suivi postopératoire immédiat. Ces bilans font l'objet d'une observation écrite codifiée, de séquences vidéographiques, et sont parfois complétés par une Analyse Quantifiée de la Marche (AQM). Ils sont transmis aux médecins qui vont être amenés à suivre le patient en rééducation postopératoire.

Les objectifs thérapeutiques sont les suivants (2) :

– prévention des dégradations qui vont apparaître au cours de la croissance staturale et pondérale de l'enfant (aggravation de la triple flexion pouvant aboutir à une perte de la marche ou de l'autonomie de déplacement, troubles rotationnels osseux, douleur

des genoux par conflit fémoro-patellaire, déformation progressive et douleur des pieds, accentuation de l'hyperlordose lombaire avec lombalgies) ;
– amélioration de la fonction de déambulation (afin d'arriver à faire progresser ou à supprimer les aides techniques, à augmenter le périmètre de marche et à diminuer le coût énergétique de la marche, ou simplement à retrouver une marche d'intérieur perdue ou en voie de l'être) ;
– amélioration de la qualité (esthétique) de la marche.

Environ une semaine à dix jours après la chirurgie, l'enfant est admis en service de rééducation pédiatrique où la prise en charge spécifique et intensive va se dérouler conjointement à la poursuite de la scolarité.

Principes de la chirurgie multisites en un seul temps opératoire et du transfert distal du droit antérieur

Sutherland (3) réalise la ténotomie proximale du *rectus femoris*, mais c'est Gage (4, 5) qui propose le transfert distal du *rectus femoris* pour faciliter la flexion du genou lors de la phase oscillante de la marche et pour diminuer la spasticité du système extenseur.

L'indication de transfert est retenue quand le test Duncan-Ely à l'examen clinique est positif, que l'électromyogramme dynamique démontre une activité continue du *rectus femoris* durant la phase oscillante et une diminution d'au moins 15° de la flexion du genou en phase oscillante, à condition qu'il n'y ait pas d'activité spastique associée des chefs monoarticulaires du quadriceps.

Il est important de réaliser cette intervention de transfert, associée à un allongement des fléchisseurs de hanches et de genoux (multisites) en un seul temps opératoire plutôt qu'à des temps successifs, de façon à normaliser les paramètres de marche à tous les niveaux et dans tous les plans , car ils sont interdépendants.

Pour Gage (6), les prérequis d'une marche normale sont :
– stabilité en phase d'appui ;
– liberté du passage du pas lors de la phase oscillante ;
– prépositionnement correct du pied en fin de phase oscillante ;
– longueur du pas suffisante ;
– conservation d'énergie afin que la marche soit la plus économique et la moins fatigante possible.

En phase d'appui, le genou assure l'absorption du choc dû à la réaction au sol, la conservation d'énergie (amortisseur), et la stabilité. En phase oscillante, le genou participe à l'absence d'accrochage du pied. Pour accomplir ces fonctions, le genou doit s'étendre presque complètement en phase d'appui et se fléchir approximativement à 60° lors du pas oscillant.

Dans la marche en triple flexion de l'IMC spastique, l'allongement isolé des ischio-jambiers transforme souvent une démarche genoux fléchis, en genoux tendus raides avec une flexion de genoux insuffisante en phase oscillante. Ce changement indésirable est dû aux co-contractions spastiques du quadriceps alors que les ischio-jambiers sont affaiblis par la chirurgie.

On observe une amélioration de la fonction du genou chez les patients IMC spastiques quand l'allongement partiel des ischio-jambiers est associé à un transfert du tendon distal du droit antérieur, soit sur la bandelette ilio-tibiale, soit sur le tendon distal du demi-tendineux, à condition que les chefs mono-articulaires du quadriceps ne soient pas spastiques (7, 8, 9).

Öunpuu (10) a montré que le tranfert du *rectus femoris* pouvait se faire soit sur la partie interne du genou en s'insérant sur le *sartorius*, sur le *semi-tendinosus* ou sur le *gracilis*, soit sur la partie externe du genou en s'insérant sur la bandelette ilio-tibiale.

L'Analyse Quantifiée de la Marche réalisée avant puis un an après l'opération montre une augmentation de la mobilité du genou avec une augmentation de l'extension au contact initial et au milieu de la phase d'appui ainsi que le maintien de la flexion en phase oscillante.

Il n'y a pas de différence significative entre les quatre sites de transfert et cette intervention n'a pas d'incidence sur l'angle du pas.

La comparaison (11) des patients opérés par transfert du droit antérieur et des patients opérés par ténotomie distale du droit antérieur à une population d'enfants IMC non opérée montre que le transfert du droit antérieur doit être proposé dès que la mobilité du genou en flexion est inférieure à 80 % de la normale en préopératoire.

L'importance de l'analyse tridimensionnelle de la marche avant décision chirurgicale a bien été démontrée par DeLuca (12) qui compare, pour une même population de patients IMC, les conclusions faites après examens clinique et vidéographique puis après Analyse Quantifiée de la Marche (AQM). L'AQM a modifié les indications chirurgicales pour 52 % des patients avec une augmentation des indications pour les jumeaux (59 %), les droits antérieurs (65 %) et une diminution pour les autres sites habituels y compris les gestes osseux.

L'effet de l'aponévrotomie des jumeaux sur la cinématique et la cinétique de l'articulation de la cheville lors de la marche a été évalué chez 20 patients (24 côtés) IMC déambulants (13). L'AQM a montré à un an postopératoire :
– l'absence d'effondrement en « *crouch gait* » (principal risque de l'allongement trop important du tendon d'Achille) ;
– une amélioration du prépositionnement du pied au contact initial par une meilleure extension de genou alors que la dorsiflexion du pied ne change pas ;
– une augmentation de la dorsiflexion en phase d'appui et en phase oscillante, associée à une diminution de l'énergie anormale produite au niveau de la cheville en milieu de

phase d'appui et à une augmentation de l'énergie générée en fin de phase d'appui pour la propulsion (14, 15).

L'électromyographie dynamique pré- et postopératoire utilisée chez des enfants IMC a permis de montrer (16) que lorsque l'activité des muscles responsables de la déformation s'exerçait exclusivement sur une partie du cycle de marche, les transferts appropriés étaient réalisés, alors que si l'on observait une activité musculaire anormale continue, on réalisait un allongement tendineux. La fonction désirée a été obtenue chez tous les patients six mois après la chirurgie.

Techniques chirurgicales employées dans le service du Professeur Bérard et du Docteur Chotel à l'hôpital Debrousse (17)

Tous les gestes cités ne sont pas systématiquement réalisés, mais l'idée d'une chirurgie en un seul temps opératoire est habituelle, orientée par l'analyse préopératoire de la hanche, du genou et du pied lors de la marche.

Gestes sur les tendons et muscles

Hanches

– Ténotomie du psoas majeur à l'arcade.
– Ténotomie des fibres les plus antérieures du tenseur du *fascia-lata* au niveau de l'EIAS.
– Ténotomie percutanée des adducteurs ou allongement modéré selon la technique de Green.
– Ténotomie du droit interne au niveau de l'ischion ou dans sa partie distale si le droit antérieur est transféré sur le droit interne.

Genoux

– Allongement des ischio-jambiers internes : le demi-tendineux, par deux ou trois sections étagées de l'aponévrose en zone musculaire ou allongement tendineux en Z ; le demi-membraneux est allongé par fenestration aponévrotique selon la technique de Green.
– Transfert du droit antérieur à la face interne du vaste interne en direction des ischio-jambiers où il est suturé au droit interne, genou à 30° de flexion.
– Abaissement de rotule au moyen d'une cordelette PDS, de façon à ce que le pôle inférieur de la rotule soit au niveau de l'interligne articulaire ; libération des bords latéraux du tendon rotulien : la moitié interne du tendon rotulien (désinsérée du pôle inférieur de la rotule) est suturée sur la rotule sous tension, la moitié externe du tendon est suturée sur elle-même en paletot.

Pieds

– Strayer (désinsertion basse des muscles gastrocnémiens : l'aponévrose des gastrocnémiens est sectionnée transversalement juste en dessous de la masse charnue des corps musculaires) plutôt qu'allongement d'Achille.
– Transfert d'un hémi-jambier antérieur sur le cuboïde ou transfert du jambier antérieur sur le 3e cunéiforme.
– Transfert d'un péronier antérieur sur le scaphoïde.
– Mac Bride pour correction d'*hallux valgus.*

Gestes osseux

– Dérotation fémorale : dérotation de la partie distale du membre en rotation externe. Ostéosynthèse par plaque à compression 6 trous adaptée à la taille de l'enfant.
– Dérotation interne tibiale, ostéosynthèse par plaque.
– Dwyer calcanéen : en cas de *varus* fixé non réductible de l'arrière-pied on réalise une ostéotomie de fermeture externe du *calcaneum.*
– Evans : intervention destinée à allonger l'arche externe du pied pour corriger l'abduction de l'avant-pied et le *varus* calcanéen.
– Mosca, variante de l'Evans : ostéotomie d'allongement du calcanéum pour correction d'abduction d'avant-pied.
– SAMT : arthrodèse sous-astragalienne et médio-tarsienne.

Gestes associés

– Abaissement de rotule par plicature simple du tendon rotulien.
– Ténotomie distale du biceps fémoral ou allongement du biceps fémoral.
– Hémi-transfert du jambier postérieur sur la base du 5e métatarsien ou allongement transmusculaire du jambier postérieur.
– Désinsertion proximale du droit antérieur ou désinsertion basse du droit antérieur.
– Ténotomie du court péronier latéral.
– Aponévrotomie plantaire.
– Capsulotomie au niveau de la hanche.
– Aponévrotomie du soléaire selon la technique de Vulpius.
– Aponévrotomie des muscles péroniers.
– Allongement percutané modéré du tendon d'Achille ou allongement par plastie en Z.

Protocoles postopératoires

Le protocole rééducatif postopératoire s'inspire très largement de celui préconisé par Gage (18) : la verticalisation et la marche sont réalisées dès que possible ; seuls les temps de consolidation osseuse et de transferts tendineux diffèrent la mise en charge et la reprise de la marche.

Gestes osseux

– Ostéotomie de dérotation tibiale et fémorale

Début de reprise d'appui progressif sur table de verticalisation avec ou sans orthèse (résine cruro-malléolaire et/ou attelles antérieures) à 15 jours, très progressivement et en respectant la règle de la non douleur pour atteindre 80° de verticalisation à 1 mois post-opératoire, puis passage en barres parallèles avec reprise de la marche si pas de douleur.

– Ostétomie du *calcanéum* : Dwyer, Evans, Mosca

Immobilisation par botte plâtrée en correction de déformation et en modelant la voûte plantaire. Prévoir une immobilisation de l'ordre de 2 mois à 2 mois 1/2 avec reprise d'appui à J 45.

Gestes articulaires

– Arthrodèse sous-astragalienne et médio-tarsienne : sans appui 45 jours, puis sous couvert de la botte plâtrée jusqu'à 3 mois.
– Mc Bride : mise en charge immédiate avec botte plâtrée.

Gestes tissus mous

– Strayer, Vulpius : appui immédiat avec bottes de contention pendant 1 mois.
– Aponévrotomie des psoas :
  - posture nocturne en décubitus ventral pendant 6 mois ;
  - posture diurne en décubitus dorsal 1 mois ou position debout et marche si les autres sites et le niveau fonctionnel le permettent ;
  - de 1 à 3 mois, position assise prolongée en ouverture d'angle tronc-cuisse (fauteuil à dossier incliné ou tabouret haut) au moins jusqu'à la reprise d'une marche fonctionnelle d'intérieur ;
  - lombostat postopératoire dès la verticalisation si on note une hyperlordose associée importante ;
  - postures d'étirement des psoas entreprises à partir de 3 semaines à 1 mois si les amplitudes d'extension de hanches sont satisfaisantes. Si on note un déficit d'extension postopératoire, les postures sont entreprises dès que possible.
– Abaissement de rotule : récupération de la flexion de genou douce les 3 premières semaines postopératoires, et limitée à 90° jusqu'à la 6e semaine, puis plus de restriction.

Ce que nous faisons actuellement après abaissement de rotule :

• en analytique :
  - contractions statiques précoces du quadriceps ;
  - à 30 jours travail dynamique contre pesanteur ;
  - à partir de 2 mois : travail analytique du quadriceps contre résistance sans restriction (isocinétisme).

• en fonctionnel :
  - marche débutée sous couvert d'attelles cruro-malléolaires type Zimmer ou en résine bivalvées dès que la verticalisation est possible. Ces attelles cruro-malléolaires sont conservées pour la marche jusqu'à ce que l'enfant soit capable de verrouiller ses genoux en appui monopodal sans risque de déverrouillage intempestif, sous couvert d'aides techniques. Des attelles antérieures peuvent suffire pour atteindre cet objectif. Elles sont maintenues tant qu'il subsiste une flexion ou un *flexum* de genou en phase d'appui ;
  - travail du quadriceps le plus souvent en fonctionnel en chaîne cinétique fermée puis à partir du 2e mois nous autorisons le tapis roulant, les escaliers, le *stepper*.

– transferts du droit antérieur sur droit interne :
  s'il n'y a pas d'abaissement de rotule associé, récupération de l'amplitude totale de la flexion de genou, hanche fléchie et tendue, le plus rapidement possible pour éviter la constitution d'adhérences.

– allongement des ischios-jambiers internes :
  - position assise jambes tendues avec dossier incliné à 45° ;
  - postures d'étirement alternées sur table entreprises à 1 mois, en intensifiant progressivement.

– transfert tendineux (jambier antérieur, jambier postérieur…) :
  contention plâtrée sans appui pendant 1 mois, puis ablation de la contention en rééducation pour réentrainement actif avec mise en charge sous couvert de la contention ou d'une orthèse fonctionnelle de marche jusqu'à 45 jours, puis travail libre avec ou sans orthèse.

Neurotomies associées

Il n'y a pas eu, dans notre série concernant l'étude statistique, de gestes sur le système nerveux périphérique.

Cependant, depuis deux ans, les enfants opérés à l'hôpital Édouard Herriot par le Docteur Dohin (service du Professeur Kohler) et rééduqués aux Massues ont pu bénéficier de ces gestes complémentaires (notamment sur les ischio-jambiers, adducteurs…) (19).

Injections postopératoires de toxine botulique

Nous avons eu recours, dans notre prise en charge rééducative aux injections de toxine botulique, en particulier :

– sur le jambier postérieur, quand la spasticité déforme le pied en varus et adduction et participe au positionnement de l'angle du pas en interne ;
– sur le triceps (en association aux bottes plâtrées de réduction d'équin), lorsque la spasticité et l'équin résiduel deviennent gênants lors du chaussage des attelles ou participent aux déséquilibres arrière et aux chutes lorsque l'enfant marche sans orthèse ;
– au membre supérieur, pour faciliter l'usage des aides techniques.

Prise en charge au CMCR des Massues

L'objectif de la prise en charge sera de restituer au plus tôt le niveau d'indépendance fonctionnelle préopératoire de l'enfant, puis de le faire progresser en améliorant la qualité de la marche, l'autonomie et l'endurance.

Le relais est pris à J7, à la sortie du service de chirurgie

Présentation de la population générale

Il s'agit d'une série de 51 enfants et adolescents IMC que nous avons reçus au Centre des Massues pour assurer la rééducation postopératoire après chirurgie multisites en un seul temps, puis le suivi en externe sur la première année.

– Ces 51 enfants sont répartis en 28 garçons (55 %) et 23 filles (45 %).
– La déficience est :
  - dans 43 cas une diplégie spastique (84,31 %) ;
  - dans 4 cas une hémiplégie infantile (7,8 %) ;
  - dans 4 cas une triparésie ou une quadriparésie asymétrique (7,8 %).
– Parmi les 51 patients opérés, 11 avaient subi antérieurement à la chirurgie multisites une ou deux opérations localisées sur les membres inférieurs, et 2 avaient été traités pour hydrocéphalie.
– La chirurgie multisites a été réalisée de façon relativement symétrique sur les 2 membres inférieurs dans 45 cas et sur 1 seul membre inférieur dans 6 cas.
– Parmi les 51 patients opérés, les gestes osseux (18 patients au total) étaient les suivants :
  - 7 ostéotomies fémorales bilatérales ;
  - 1 ostéotomie tibiale bilatérale ;
  - 3 ostéotomies tibiales unilatérales ;
  - 2 ostéotomies bilatérales fémorales et tibiales ;
  - 4 ostéotomies fémorales unilatérales ;
  - 1 ostéotomie unilatérale fémorale et tibiale du côté opposé ;
  - 3 arthrodèses sous-astragaliennes médio-tarsiennes sans geste osseux sus-jacent ont par ailleurs été réalisées.
– Pour ces 18 patients la durée moyenne de séjour a été de 5,5 mois, soit environ 3 semaines de plus que pour notre population générale.
– L'âge auquel est réalisée la chirurgie dans notre population est très homogène :
  - lorsque l'intervention est bilatérale la moyenne d'âge est de 12,80 ans (13,70 ans pour les garçons et 12,52 ans pour les filles) ;
  - lorsque l'intervention est unilatérale, elle est réalisée à 11,52 ans (11,75 ans pour les 4 garçons et 11,03 ans pour les 2 filles).
– La durée moyenne du séjour en service de rééducation après la chirurgie multisites est de 4,9 mois, lorsque la chirurgie touche les 2 membres inférieurs. Les 4 cas opérés d'un seul côté sont restés en moyenne 2,7 mois.

Examen médical à l'arrivée de l'enfant

La prise en charge de l'enfant débute par l'examen médical, en présence de l'infirmière et des parents.

Les objectifs de ce premier contact sont :

– connaître le niveau moteur de l'enfant avant l'opération, et surtout le niveau fonctionnel maximal atteint avant une éventuelle phase de régression ;
– évaluer l'indice fonctionnel de Gillette préopératoire ;
– se renseigner :
    - sur les types de prises en charge habituelles de l'enfant à l'extérieur des Massues pour voir s'il est possible de les poursuivre lors du séjour (psychomotricité, psychologue, orthophoniste...) ;
    - sur l'évolution de sa scolarité.
– rechercher les attentes de l'enfant et des parents vis-à-vis de la chirurgie réalisée. Les parents se posent beaucoup de questions sur le résultat escompté par rapport à l'investissement physique et psychologique demandé à leur enfant ;
– expliquer les modalités du séjour pour la prise en charge rééducative et scolaire et la durée approximative du séjour ;
– rassurer l'enfant, car en période postchirurgicale précoce la musculature des membres inférieurs est en partie sidérée et l'enfant a moins de possibilités fonctionnelles qu'il n'en avait avant l'opération ;
– faire le point sur le traitement médical : antalgiques, myorelaxants, lutte contre la constipation…

– Suivi de la douleur
    - La douleur spontanée est généralement absente : si elle existe il faut vérifier les points d'appui, surtout si les contentions sont circulaires (bottes résines).
    - À la mobilisation, la douleur est d'apparition rapide en postopératoire immédiat, nécessitant un ajustement régulier des doses et des heures de prise d'antalgiques au moyen d'une évaluation par EVA et de l'interrogatoire du patient. On utilise volontiers des associations d'antalgiques de classe I et II, le recours à la classe III étant exceptionnelle car on préfère alors ralentir le programme de mobilisations.

La douleur est une préoccupation constante de toute l'équipe tout au long du séjour.

– Suivi vésico-sphinctérien

Il est possible que l'enfant présente une petite incontinence urinaire d'effort pendant les premières semaines postopératoires par relâchement musculaire, d'autant plus si l'on utilise des myorelaxants. Il faut informer et rassurer l'enfant, diminuer voire arrêter les myorelaxants, lui faire vider la vessie avant effort. Dans un second temps, si cela persiste, il est possible d'introduire un anticholinergique à dose filée et de demander un bilan vésico-sphinctérien.

– Examen clinique en décubitus dorsal :
    - examen et localisation des cicatrices d'intervention ;

- examen de la sensibilité objective et subjective ;
- recherche des amplitudes articulaires passives en mobilisations douces dans les secteurs angulaires autorisés ;
- évaluation du degré de sidération musculaire ;
- examen du rachis en position assise dès que possible.

Ce bilan clinique permet parfois de mettre en évidence une spasticité qui peut se révéler importante sur certains muscles ou groupes musculaires. Son incidence lors de la reprise de la marche peut se révéler gênante. Un traitement par toxine botulique pourra alors être envisagé pour limiter la gêne fonctionnelle et favoriser la progression.

L'examen précédemment décrit sera ensuite régulièrement reconduit dans ces grandes lignes. Il sera complété lors de la reprise de la position debout et de la marche par un examen clinique et radiologique du rachis et du bassin en position debout statique et l'observation lors de la marche et un contrôle et aménagement de la position assise en fonction des sites chirurgicaux.

Il y aura des entretiens réguliers avec les parents tout au long du séjour, pour « baliser » l'évolution de la rééducation et les différentes étapes des progrès neuromoteurs.

Au besoin, une information est transmise sur l'aide que nous souhaitons obtenir par des injections ciblées de toxine botulique.

Prise en charge rééducative (20)

Les principales étapes de la prise en charge rééducative en kinésithérapie et ergothérapie peuvent se résumer en trois phases.

Phase 1 de J 7 à J 30 : cicatrisation musculo-tendineuse

Elle nécessite une contention nocturne et diurne.

Bilans : articulaires, cutanés, de la motricité

Les installations en lit, fauteuil et contentions diverses

Contentions cruro-malléolaires

Attelles de Zimmer®

Elles sont mises en place pour garantir une cicatrisation optimale en position longue des ischio-jambiers, si l'extension complète du genou est obtenue spontanément en décubitus dorsal. Elles sont portées de jour et de nuit en dehors des séances de rééducation le premier mois, puis la nuit pendant 6 mois environ.

– Indications : maintien du genou en extension à titre de postures, cicatrisation des ischio-jambiers en position longue ; cette contention étant plus confortable qu'une contention rigide.
– Prescription : il s'agit d'un appareillage qui arrive avec l'enfant opéré et qu'il conserve jusqu'à la fin du séjour en rééducation.

– Inconvénients : l'attelle de Zimmer® ne peut pas donner une extension complète au niveau du genou s'il existe une tension résiduelle sur les ischio-jambiers et sur les éléments capsulo-ligamentaires postérieurs du genou.

Résines cruro-malléolaires

L'enfant est le plus souvent équipé à la sortie du service de chirurgie d'attelles de Zimmer® qui sont remplacées dès l'arrivée en service de rééducation par des résines cruro-malléolaires s'il existe un déficit d'extension en décubitus dorsal.

Ces résines cruro-malléolaires sont bivalvées. Elles sont particulièrement indiquées lorsqu'il y a un *flexum* de genoux ou un déficit d'extension spontanée des genoux en décubitus dorsal.

Il s'agit d'une contention d'aide à la posture, à la verticalisation et à la déambulation.

Il faut être très strict sur l'extension du genou en décubitus dorsal et toujours chercher à obtenir une extension à 0°. La nécessité d'avoir recours à des résines cruro-malléolaires signe une hypertonie résiduelle des ischio-jambiers et/ou une fixation ancienne des limitations d'amplitude au niveau articulaire, qui va souvent de paire avec un risque de récidive plus important. Elles seront souvent conservées beaucoup plus que 6 mois en postopératoire, parfois jusqu'en fin de croissance.

Mousse triangulaire d'abduction de hanches

Elle permet de posturer les adducteurs pour obtenir une cicatrisation en position longue après ténotomie. Elle est utilisée :
– en permanence en dehors de la rééducation pendant 1 mois postopératoire, en lit ou en fauteuil roulant la journée s'il n'y a pas eu de gestes sur les psoas ;
– en position ventrale quand les fléchisseurs de hanche doivent être posturés ;
– la nuit seulement entre 1 et 6 mois postopératoire.

Réalisation : faite sur mesure par les ergothérapeutes, en fonction de l'abduction de hanches tolérée. La longueur de la mousse est calculée de mi-cuisse à mi-jambe (fig. 1).

Posture à plat ventre



Fig. 1 - Posture à plat ventre avec mousse d'abduction.

Indications : s'il y a eu un geste sur le psoas ou sur les muscles antérieurs de la hanche.

Durée quotidienne : si possible la nuit et pour la sieste. Si la posture nocturne n'est pas bien supportée, on laisse le patient 6 heures par jour à plat ventre.

Cette posture sera poursuivie au minimum pendant 6 mois, la nuit.

Remarque : le décubitus ventral ne contrôle pas l'antéversion du bassin ni la lordose lombaire ; cette posture doit être complétée en rééducation par des postures progressives spécifiques d'étirement des psoas avec contrôle des compensations.

Lors de la remise à la marche, la mise en place d'un lombostat en résine bivalves ou en polyéthylène bivalves réalisé en lordose corrigée peut être nécessaire pour contenir la lordose et contrôler l'effet de la mise en tension du psoas au niveau de son insertion supérieure.

Adjonctions diverses

Mousses de calage ou ailettes en résine adaptées aux attelles pour limiter la rotation externe des membres inférieurs.

Protection des talons en décubitus dorsal par des bottes de décharge en mousse.

Si chirurgie du triceps

L'enfant arrive avec une botte résine circulaire associée à l'attelle de Zimmer®. Lorsque l'enfant a bénéficié d'une chirurgie de Strayer (aponévrotomie des jumeaux), l'appui est immédiat, avec la botte résine qui est conservée pendant 3 semaines.

Puis cette botte est bivalvée et remplacée si nécessaire par une attelle fonctionnelle de marche, antérieure, antéro-postérieure ou postérieure à lame carbone. La nuit, maintien de la botte bivalve en position neutre de cheville ou relais par une attelle postérieure de posture en polyéthylène.

En cas d'allongement complet du tendon d'Achille, associé ou non à un « freinage », la contention est plus longue : 3 semaines sans appui dans une botte plâtrée, puis 3 semaines avec appui progressif dans une botte plâtrée ou résine de marche.

Remarque : la contention de pied est laissée la nuit pendant une durée d'environ 6 mois et parfois davantage s'il y a tendance à la récidive.

Les installations en fauteuil

S'il n'y a pas eu de geste tendineux sur les fléchisseurs de hanche, l'enfant est installé dès son arrivée en fauteuil roulant manuel, avec repose-jambes et dossier légèrement incliné sur l'arrière, de manière à limiter une tension excessive sur les ischio-jambiers.

S'il y a eu un geste sur les adducteurs, on installe une « planche » à la place des repose-jambes permettant de positionner une mousse d'abduction entre les membres inférieurs.

S'il y a eu un geste sur le psoas, l'installation en fauteuil sera différée à 1 mois post-opératoire. Au cours du 1er mois, on peut installer l'enfant à plat ventre en lit ou sur chariot plat pour favoriser son autonomie. Puis on optera pour une position en fauteuil avec dossier incliné, tant que la marche autonome ne sera pas acquise (fig. 2).



Fig. 2 - Installation personnalisée en position semi-assise.

Attention à la bascule antérieure du fauteuil roulant dès que l'enfant acquiert un peu plus d'autonomie. En effet, le poids des jambes étendues sur les repose-jambes peut faire basculer le fauteuil si l'enfant penche le buste en avant pour attraper quelque chose. On peut alors lester le fauteuil par des poids fixés à l'arrière.

Prise en charge kinésithérapique

Tout au long de la rééducation, on fixe régulièrement des objectifs à court terme. Ils sont modifiés en suivant la progression de l'enfant. Le rôle de chaque appareillage est expliqué à l'enfant et à sa famille pour une meilleure adhésion au traitement. On cherche toujours à montrer à l'enfant et à son entourage ce qu'il est capable de faire en évitant les situations d'échec.

Mobilisations passives

Sur Kinetec®, pour récupérer de la mobilité des genoux et des hanches et éviter la constitution d'adhérences cicatricielles. Cryothérapie associée pour lutter contre la douleur et l'inflammation du genou.

Le travail sur Kinetec® permet une mobilisation douce avec contrôle de vitesse et d'amplitude par l'enfant qui peut gérer lui-même sa progression sous surveillance du kinésithérapeute. Cela permet de diminuer énormément l'appréhension de la douleur ainsi qu'un travail prolongé de mobilisations articulaires et de tous les plans de glissement musculo-aponévrotiques.

Verticalisation et remise à la marche avec attelles et aides techniques

Elle est immédiate en l'absence de gestes osseux. Elle débute sous couvert des contentions cruro-malléolaires (fig. 3).

L'ablation des contentions cruro-malléolaires est progressive si le verrouillage du genou en appui unipodal lors de la marche est obtenu ; elles sont enlevées alternativement d'un côté, puis de l'autre, puis des deux côtés.

Les attelles suro-pédieuses prendront le relais des contentions cruro-malléolaires.

Le guidage du bassin est nécessaire pour corriger le défaut d'appui. Ce travail s'effectue dans les barres parallèles, puis en cadre postérieur.



Fig. 3 - Marche avec cadre postérieur et résines cruro-malléolaires.

Sur un pied douloureux à la reprise d'appui avec œdème plus ou moins prononcé, on utilise un protocole à partir de bains écossais pour enrayer l'évolution de ce début d'algoneurodystrophie.

Travail analytique des groupes musculaires non opérés les plus faibles
Principe : pas de travail précoce en force sur les muscles touchés par la chirurgie.

Éducation posturale de redressement du bassin sur les membres inférieurs et du tronc sur le bassin
Les membres inférieurs sont verrouillés par les contentions cruro-malléolaires ou les attelles suro-pédieuses pour que les muscles sous-pelviens travaillent dans des longueurs permettant un équilibre pelvien corrigé dans les trois plans de l'espace. Ce contrôle postural est associé au travail de l'équilibre statique ainsi qu'à la marche avec aides techniques (cadre postérieur, cannes canadiennes).

Ce travail est essentiel lorsque les enfants ont longtemps marché en triple flexion accentuée et qu'il faut recruter les muscles dans des courses très différentes de celles utilisées en préopératoire. Un important travail de reconditionnement musculaire doit être sollicité, indissociable de l'éducation posturale. Il ne suffit pas de comprendre la position corrigée ; encore faut-il que les muscles aient la capacité de la maintenir, avant de pouvoir l'automatiser.

Il est parfois intéressant d'utiliser un lombostat pour contenir une hyperlordose ce qui permet de faciliter le contrôle de la bascule sagittale du bassin.

Prise en charge en ergothérapie

Travail de coordination des membres supérieurs afin de préparer la marche avec les cannes canadiennes
En vue du passage à la marche, l'ergothérapeute propose un travail de coordination des membres supérieurs entre eux, puis des membres supérieurs par rapport aux membres inférieurs. Si la préhension des cannes est difficile (excès de pronation, poignet en hyperflexion, défaut d'enroulement des doigts), l'ergothérapeute peut adapter les poignées sur les aides techniques.

Chez certains enfants présentant de gros troubles de coordination membre supérieur / membre inférieur et chez les petits, on passera directement de l'entraînement à la marche en cadre postérieur à celui sans aide technique (pas de cannes).

Phase 2 à partir de J 30 : phase de remise en route fonctionnelle

Ablation de la contention cruro-malléolaire ou cruro-pédieuse diurne.

Réadaptation ou adaptation du fauteuil roulant

S'il y a eu une chirurgie aux genoux et/ou aux pieds, on passe progressivement des repose-jambes aux cale-pieds. L'objectif étant de quitter dès que possible progressivement puis définitivement le fauteuil.

Adaptation ou réadaptation d'orthèses fonctionnelles d'aide à la marche (attelles suro-pédieuses) et dérotateurs

Attelles suro-pédieuses

Il s'agit d'attelles antérieures, antéro-postérieures, postérieures de marche, coques 3 points… Leur mise en route peut être effectuée plus tôt si la remise en charge est immédiate.

La chirurgie modifiant l'équilibre musculaire agonistes/antagonistes, l'appareillage préopératoire, lorsqu'il existe, doit être systématiquement révisé et réadapté.

Les attelles suro-pédieuses sont réalisées en matériaux plus ou moins rigides, de façon à apporter, en fonction des objectifs recherchés, plus de stabilité (matériaux plus rigides), ou plus de dynamisme (matériaux semi-rigides).

Les matériaux carbone qui, une fois déformés, restituent lors du retour à leur forme initiale, la même force que celle qui a produit leur déformation, ont permis de créer des orthèses très dynamiques. Celles-ci permettent, par exemple, de suppléer en partie au déficit de propulsion du triceps, très couramment rencontré chez les adolescents diplégiques spastiques marchant en « *crouch gait* ». La difficulté consiste à trouver le bon rapport rigidité/souplesse de la lame carbone qui permettra d'apporter une stabilité maximale en phase d'appui unipodal tout en conservant le maximum de mobilité, pour un coût énergétique minimum.

Les attelles de prédilection pour les types de marche en « *crouch gait* » sont les attelles de type anti-talus (fig. 4).



Fig. 4 - Attelle antéro-postérieure à lame carbone.

Principe des attelles anti-talus

L'allongement des ischio-jambiers libère un secteur angulaire dans le sens de l'extension du genou, secteur qui chez certains enfants n'était pas exploité musculairement depuis longtemps.

L'allongement progressif du tendon rotulien associé à l'ascension de la rotule, observés dans la marche en triple flexion prolongée, rend le quadriceps inefficace pour verrouiller le genou dans ce secteur angulaire libéré. L'angle mort du quadriceps est souvent important.

L'adaptation d'attelles courtes permet d'obtenir un verrouillage passif dans ce secteur angulaire et supplée en partie aux déficits du quadriceps.

L'aide au verrouillage que l'attelle apporte diminue l'intensité du travail du quadriceps en charge et de plus stabilise, voire inverse, le processus d'ascension de rotule et de distension du tendon rotulien, d'autant plus que le transfert du droit antérieur supprime une des forces ascensionnelles exercées sur la rotule.

Indications : elles facilitent le verrouillage du genou pendant la phase d'appui, évitent l'effondrement en triple flexion, facilitent la propulsion si les matériaux sont semi-rigides, sécurisent l'enfant, augmentent le périmètre de marche. Cet effondrement est variable en fonction du degré d'efficacité du quadriceps. La valeur du *flexum* du genou en charge est généralement proche de celle de l'angle mort, ceci sans attelle.

Ces attelles sont portées autant que nécessaire, c'est-à-dire tant que le verrouillage des genoux en statique est insuffisant et que le périmètre de marche avec attelles reste supérieur au périmètre de marche sans attelles.

Globalement, elles sont conservées jusqu'à récupération complète du verrouillage du genou en position debout et à la marche lors de l'appui monopodal. Ces attelles optimisent le résultat de la chirurgie.

Adaptations : l'objectif est de régler la bascule tibiale de façon à obtenir le meilleur alignement sagittal possible en position debout ainsi qu'un déroulement du pas harmonieux et efficace. Elle est réalisée en fibre de carbone ou en polyéthylène.

Lorsqu'en position assise jambe tendue, on peut ramener le pied facilement à 90°, l'attelle polyéthylène est moulée dans cette position. En revanche, si on ramène difficilement le pied à 90° dans la position assise jambe tendue, alors il faut tolérer un peu plus d'équin. Mais la bascule tibiale devra, si possible, être de 5° vers l'avant quelle que soit la position du moulage si les tensions sus-jacentes (ischio-jambiers, psoas) sont compatibles avec cette position d'équilibre. L'attelle en fibre de carbone est moulée autour d'un angle de 10° d'équin, de façon à ce que le segment jambier puisse se retrouver, lorsque l'enfant est en position debout avec une bascule tibiale antérieure d'environ 5° en tenant compte de la hauteur du talon de la chaussure et de l'éventuelle déformation de la lame sous le simple poids de l'enfant. L'ajustement de la bascule tibiale et le degré de souplesse de la lame carbone seront toujours affinés sur l'enfant, en fonction de la qualité de l'équilibre sagittal recherché et du déroulement du pas obtenu.

Il sera toujours plus facile de régler et de corriger l'équilibre sagittal à partir de la bascule tibiale sur une position de moulage trop en équin par une talonnette dans la chaussure, alors qu'un excès de talus est difficile à compenser.

On a également la possibilité de placer une petite cale sous la partie talonnière de cette attelle de façon à compenser un défaut de correction ou un excès de tension sur les jumeaux.

L'adaptation de l'attelle est plus facile après une chirurgie d'allongement des ischio-jambiers car il y a moins de résistance au verrouillage du genou.

Lorsqu'après un allongement de tendon d'Achille le triceps perd en partie ses capacités de propulsion, on a avantage à utiliser des attelles antéro-postérieures en carbone, qui suppléent par restitution d'énergie la force déficitaire du triceps.

Nous avons complètement abandonné l'attelle *Rear Entry* chère aux Américains. Nous avons en effet constaté la perte du réglage initial de la bascule tibiale au fil du temps, du fait de la déformation du matériau polyéthylène fragilisé par l'articulation de l'attelle.

Nous utilisons de plus en plus les attelles en carbone, qui permettent toutes les nuances par le réglage de l'épaisseur de la lame.

Les dérotateurs souples (figs. 5 et 5 bis)
Lorsque des troubles rotationnels subsistent en postopératoire, nous avons recours à l'aide de dérotateurs souples de façon à essayer de restituer les bras de levier articulaires de la force de réaction du sol favorables au bon déroulement du pas.



Fig. 5 - Dérotateur souple fémoral.



Fig. 5 bis - Dérotateur souple fémoral.

Intensification de la rééducation analytique et fonctionnelle

Postures surtout sur les ischio-jambiers, les psoas et les droits antérieurs (fig. 6)
S'il y a eu une chirurgie des psoas, il faut privilégier la position debout ou couchée jambes tendues, pour maintenir les fléchisseurs de hanches en position longue.



Fig. 6 - Posture alternée psoas ischio-jambiers.

Poursuite de la récupération de la flexion du genou en plaçant le droit antérieur en tension (décubitus ventral) et de la flexion dorsale de cheville s'il y a eu une chirurgie du triceps

Éducation posturale
Essentielle pour optimiser l'effet de l'attelle anti-talus de marche. L'enfant doit apprendre à trouver son point d'équilibre en plaçant son centre de gravité le plus en avant possible. Plus le centre de gravité se trouve en avant par rapport à l'attelle, plus l'effet de verrouillage du genou est important. À l'inverse, si le centre de gravité recule, l'enfant perd l'efficacité du verrouillage passif.

Intensification de l'ajustement postural du pelvis et du rachis dans les 3 plans de l'espace en statique avec appui bipodal et unipodal (fig. 7)



Fig. 7 - Éducation posturale.

Ce travail est ensuite repris en dynamique par la marche guidée sans appui des membres supérieurs, avec résines cruro-malléolaires moulées sur attelles de marche si

nécessaire en sollicitant les réactions posturales automatiques, notamment d'équilibration et de redressement, de façon à stimuler le contrôle de l'antéversion du bassin et de l'antéflexion du tronc ainsi que les stabilisateurs frontaux du bassin et du tronc (figs. 8 et 8 bis).



Fig. 8 - Correction posturale par les techniques de marche guidée sans appui des mains (profil).



Fig. 8 bis - Correction posturale par les techniques de marche guidée sans appui des mains (face).

Éducation des transferts d'appui antéro-postérieurs et frontaux (fig. 9) par la marche guidée, patient sans appui des mains, on recherche une automatisation de la correction des transferts d'appui.



Fig. 9 - Marche guidée.

Renforcement musculaire
L'objectif est de normaliser le rapport de force agonistes / antagonistes : mieux vaut avoir des agonistes et des antagonistes faibles que des agonistes forts et des antagonistes faibles, qui vont engendrer un déséquilibre de l'ajustement articulaire et postural. (intérêt du Cybex dans l'évaluation de ces déséquilibres à partir de 2 mois postopératoires). Sollicitation progressive des groupes musculaires tels qu'ischio-jambiers, psoas, extenseurs de genoux, triceps..., notamment ceux qui sont en relation avec un défaut qualitatif de la marche, en cohérence avec leur mode de recrutement fonctionnel (longueur, conditions de dissociation, vitesse…).

Entraînement à la marche
On essaye d'évoluer dans l'utilisation puis l'ablation si possible des aides techniques, tout en privilégiant la qualité de la marche. On recherche une augmentation progressive du périmètre de marche de façon à supprimer le fauteuil roulant au sein du centre de rééducation dès que possible. Cette suppression est progressive mais rapide pour renforcer l'endurance à la marche.

Travail fonctionnel (fig. 10)



Fig. 10 - Travail fonctionnel enjambements.

Enjambements, escaliers, tapis roulant, *stepper*, vélo de rééducation… (fig. 11).



Fig. 11 - Travail sur tapis roulant.

Utilisation de la toxine botulique (21)
On recherche d'éventuelles hypertonies notamment des triceps qui pourraient être responsables d'équins dynamiques lors de la marche (ou *recurvatum* du genou en charge) ; si cette recherche est positive et confirmée lors de la remise à la marche, il s'agit d'une indication d'injections de toxine botulique le plus tôt possible afin que le produit soit efficace dès la reprise de la déambulation autonome. Certaines anomalies toniques non concernées par la chirurgie freinent la récupération fonctionnelle et peuvent être traitées efficacement par la toxine, dès le 2e mois postopératoire ou plus tard pendant l'hospitalisation. Dans les suites des injections, les postures sont intensifiées, ainsi que les exercices de marche guidée. La progression de l'enfant est facilitée en traitant un trouble tonique résiduel fonctionnellement gênant (22).

Balnéothérapie : dès que la cicatrisation cutanée est obtenue.

Activités sportives : à ce stade, en fauteuil roulant le plus souvent.

Prise en charge en ergothérapie

Travail des transferts, des activités corporelles élémentaires (apprentissage pour chausser les nouvelles attelles) et des activités de la vie journalière pour une autonomisation maximale.

En général, cette phase signe le début des permissions en week-end thérapeutique et ces retours doivent être préparés avec la famille, surtout si l'enfant est en fauteuil alors qu'il n'y est pas habituellement (étude du domicile pour l'accès à la chambre, aux W.-C., à la salle de bains ; travail des transferts voiture).

Compressions cicatricielles : si les cicatrices ont tendance à devenir hypertrophiques, l'ergothérapeute réalise une contention élastique portée à temps plein, avec compression localisée sur la cicatrice pour améliorer l'esthétique et enrayer l'hypertrophie.

Phase 3 de J 60 au départ (environ 4 mois et demi postopératoire) : phase de réentraînement intensif

Renforcement des groupes musculaires tels qu'ischio-jambiers, psoas, extenseurs de genoux, fessiers, muscles érecteurs du rachis.

Travail global en kinésithérapie

Travail de la marche en cannes canadiennes ou autonome.

Recherche de l'autonomie maximale.
À ce stade, le fauteuil roulant est généralement abandonné, au moins pour les déplacements d'intérieur.
Le travail sans aides techniques est intensifié.

Poursuite de la rééducation : posture, travail analytique et fonctionnel, éducation posturale.

Travail de la qualité de la marche
Travail de contrôle de la qualité de la marche (attaque du talon, contrôle de l'oscillation, du redressement du tronc…) sur tapis roulant à des vitesses de plus en plus rapides, puis si possible en soulageant, voire en supprimant, l'appui des membres supérieurs.

Entraînement de l'endurance à la marche (distance maximale parcourue à une vitesse donnée) sur tapis roulant.

Même travail en extérieur (si possible en terrain irrégulier si déficit moteur moins important), entraînement au port de sac scolaire.

Incitation et initiation à la pratique d'activités sportives dans lesquelles l'enfant pourra s'épanouir (natation, escalade...) et qu'il pourra éventuellement poursuivre à sa sortie.

Isocinétisme (fig. 12)



Fig. 12 - Travail du genou en isocinétisme.

Objectifs généraux
- Réaliser un bilan musculaire du couple quadriceps/ischio-jambiers.
- Améliorer l'isolation motrice et le renforcement musculaire du quadriceps et des ischio-jambiers et lutter contre les co-contractions.
- Solliciter le quadriceps afin d'exploiter l'extension du genou libérée après l'allongement des ischio-jambiers (diminution de l'angle mort).
- Recruter les fessiers et les lombaires en position courte pour les enfants ayant marché longtemps en « *crouch gait* » majeur et/ou ayant perdu la marche en préopératoire (fessiers et lombaires incompétents en position courte).

Précautions
- Il faut attendre la fin de la cicatrisation musculo-tendineuse. Lorsqu'il y a eu une remise en tension de l'appareil extenseur par plicature du tendon rotulien, la prise en charge est différée au début du 3e mois.

– La spasticité du quadriceps et des ischio-jambiers doit être inférieure à 3 (Ashworth).
– L'amplitude de travail articulaire du genou est comprise entre 0° et 90°.
– La collaboration de l'enfant est indispensable.
– Le matériel est inadapté pour des enfants de petite taille.

Modalités
– La prise en charge en rééducation de certains de ces enfants est complétée par un travail de renforcement isocinétique en mode concentrique sur les fléchisseurs et/ou extenseurs du genou, le plus souvent en bilatéral.
– Le but de cette prise en charge est d'améliorer le potentiel des muscles déficients afin d'optimiser la fonction de la marche.
– La prise en charge isocinétique est réalisée en moyenne sur une durée de 6 semaines.
– Les séances sont bi-hebdomadaires, le travail est progressif et s'effectue en 2 phases :
  - les 6 premières séances à 120°/sec, 10 séries de 5 répétitions ;
  - les 6 séances suivantes à 90°/sec, 10 séries de 5 répétitions.
– L'évaluation finale à la sortie des patients nous donne les premières impressions de ce type de travail dans le contexte d'atteinte neuromotrice. Nous débutons cette prise en charge, par conséquent, seuls quatre dossiers sont rapportés ici (annexe).
– Les paramètres d'analyse retenus sont :
  - le pic de couple (PC) : valeur du couple (moment de force en Nm) la plus élevée de toutes les répétitions d'une série et pour toute l'amplitude (dans nos résultats rapporté au poids du corps) ;
  - le travail total de la série (TTS) : somme du travail réalisé dans chaque répétition (le travail est représenté par l'aire sous la courbe) ;
  - le temps d'accélération (TA) : temps nécessaire pour atteindre la vitesse sélectionnée du dynamomètre. Meilleur temps de réaction musculaire ;
  - l'amplitude angulaire (AA) : secteur angulaire de travail efficace ;
  - le ratio F/E : valeur du groupe normalement le plus faible divisée par valeur du groupe le plus fort et multipliée par 100 : reflet de la balance musculaire au niveau de l'articulation du genou.

Les valeurs théoriques à 30°/sec du rapport IJ/Q ont été définies par Gobelet (23).

Conc à 30°/sec	*Quadriceps*	*Ischio-Jambiers*	*IJ/Q*
5 ans	1,59 ± 0,49 Nm/kg	1,1 ± 0,3	74 % ± 5,7
10 ans	2 ± 0,5	1,4 ± 0,48	70,4 % ± 2,14
15 ans	4,11 ± 0,37	2,23 ± 0,35	52,9 % ± 5,1
25 ans	3,63 ± 0,52	2,1 ± 0,31	58 % ± 7,5
Sportifs haut niveau	3,77 ± 0,52	2,29 ± 0,32	61,2 % ± 7,2

– Ce mode de travail demande une bonne participation active de l'enfant et des encouragements oraux tout au long du travail. La visualisation sur l'écran de l'effort fourni et de l'évolution des résultats apporte une motivation supplémentaire non négligeable.

Les valeurs fournies dans les tableaux joints en annexe objectivent la progression sur six semaines pour chacun des patients par rapport au bilan initial.

Ce que l'on peut retenir de cette petite série de patients

À l'issue de ces quelques séances de renforcement, des éléments d'amélioration apparaissent :

– du point de vue de la qualité de la contraction musculaire, la reproductibilité du travail est améliorée parallèlement à l'augmentation de la couverture angulaire efficace ;
– la force musculaire maximale s'exprime de façon plus rapide et plus intense à l'amorce du mouvement et se maintient plus longtemps au cours du déplacement du membre.

En revanche, les résultats des trois patients pour lesquels le renforcement des fléchisseurs des genoux a été entrepris, ne montrent pas d'amélioration des ratios qui restent faibles (inférieurs à 0,5). Le renforcement du genou sur machine isocinétique implique une activité dynamique concentrique de l'agoniste comme de l'antagoniste (mouvement aller-retour d'extension / flexion). Le groupe musculaire à renforcer travaille à 120°/sec puis à 90°/sec (selon protocole) et l'antagoniste réalise le mouvement à une vitesse de 300°/sec (vitesse rapide).

On obtient aussi un gain sur l'antagoniste au cours des séances, ce qui peut expliquer l'absence d'amélioration du ratio F/E.

Il semble important de débuter ce renforcement isocinétique le plus tôt possible en postchirurgical en tenant compte des indications inhérentes à la chirurgie, afin que ces patients puissent bénéficier d'une prise en charge isocinétique plus longue et espérer ainsi rééquilibrer la balance musculaire du genou. Des évaluations à distance du séjour en hospitalisation nous permettront d'objectiver la pérennité des gains obtenus.

Il sera intéressant dans notre pratique d'évaluer de façon plus systématique ces enfants en pré- et postchirurgie afin d'objectiver les effets de la chirurgie et d'anticiper sur la mise en place du travail de renforcement.

Le renforcement de la chaîne lombo-pelvienne postérieure par utilisation du module rachis est aussi une piste qu'il nous paraît intéressant d'exploiter chez ces enfants présentant une antéflexion du tronc par insuffisance des muscles érecteurs du rachis et des sous-pelviens.

Ergothérapie

Adaptation optimisée de la position assise : l'utilisation combinée d'un coussin triangulaire d'assise et d'un pupitre de table permettent généralement d'ouvrir l'angle tronc-cuisse et de lutter contre l'effondrement (hypotonique) en cyphose globale. Les aides techniques à la position assise sont testées en ergothérapie puis éprouvées en scolarité aux Massues. Si elles s'avèrent efficaces, l'enfant les emportera pour les utiliser dans son milieu scolaire habituel. Parfois, on peut aussi proposer une valve antérieure de stabilisation du tronc, ou une assise plus élaborée réalisée conjointement avec un appareilleur (selle inclinée avec appui antérieur...). La proposition de ces aides techniques s'accompagne si nécessaire d'un travail postural du tronc dans la recherche de l'équilibre latéral et antéro-postérieur (fig. 13).



Fig. 13 - Assise personnalisée pour l'école.

Activités sportives

On incite l'enfant à la pratique d'activités sportives en recherchant son épanouissement ainsi que le contrôle de l'espace au travers de l'escalade (qui permet aussi de travailler les transferts d'appui), la natation...

Ces activités pourront être poursuivies à la sortie du centre.

Bilans de sortie

Les bilans de départ du service de rééducation sont comparés aux bilans préopératoires :
– périmètre de marche maximal sans arrêt :
  - Indice de Dépense Energétique (IDE) (24) ;
  - Exploration Motrice Fonctionnelle Globale (EMFG) ;
  - vidéo de marche.
– bilans analytiques ;
– vitesse maximale de marche sur 10 mètres départ et arrivée non arrêtés.

Il arrive que pour des séjours longs (6 mois) des bilans intermédiaires soient réalisés (IDE, bilan analytique) afin de situer l'évolution par rapport aux objectifs préopératoires ainsi qu'aux données des bilans préopératoires.

À tous les stades

– Cette chronologie rééducative n'est pas définie de façon stricte mais modelable en fonction de la rapidité de la progression, variable d'un enfant à l'autre, et liée au niveau fonctionnel préopératoire et à l'étendue du geste chirurgical.
– Des conseils sont donnés à la famille pour que l'enfant mette en pratique dans les meilleures conditions ses nouvelles acquisitions motrices, d'abord dans son milieu familial, puis à l'école pour optimiser les résultats.
– On insiste sur l'importance de la poursuite des postures sur les IJ/psoas dans les suites de chirurgies de « *crouch gait* » prononcé et sur le suivi à long terme de l'appareillage.

– On incite l'enfant et sa famille à réaliser dès que possible des déplacements à pied en dehors du domicile, même avec aides techniques si nécessaire (cadre de marche utilisé en grandes surfaces qui offrent espace et distance sur terrain plat, ce qui permet de travailler l'endurance). Il faut redonner envie à l'enfant de s'ouvrir sur l'extérieur au lieu de rester cloîtré chez lui dans un espace restreint où ses déplacements seront limités et ne sauraient en aucun cas permettre de maintenir, à long terme, les acquis de la chirurgie.
– L'ergothérapeute peut aussi proposer, dans la mesure où l'emploi du temps de l'enfant le permet, un bilan et une prise en charge des troubles neurocognitifs, avec travail de l'orientation temporospatiale, de la latéralisation, des praxies visuo-constructives et de l'organisation des tâches complexes. Toutes ces fonctions ont un retentissement sur la vie quotidienne de l'enfant et sur sa scolarité. La prise en charge de ces troubles pendant le séjour aux Massues permet à l'enfant de mieux préparer sa sortie et son retour à l'école.

Très souvent, on retrouve une maladresse et un manque de dextérité et de vitesse d'exécution gestuelle aux membres supérieurs qui peuvent nécessiter une prise en charge en ergothérapie pour développer les performances motrices et l'habileté.

Il arrive parfois que l'ergothérapeute prenne le relais d'un suivi antérieur à l'intervention mais le plus souvent la prise en charge est initiée durant le séjour hospitalier.

Les complications rencontrées en cours de séjour

Les complications que nous avons notées sur l'ensemble des 51 patients opérés sont les suivantes.

Complications mécaniques

– Troubles résiduels de rotation du pied après ostéotomie (2 cas) : les 2 avaient bénéficié d'une dérotation fémorale bilatérale sans geste tibial associé.
– Une rupture de plaque fémorale d'ostéosynthèse (à 4,5 mois postopératoires) obligeant à une reprise chirurgicale avec nécessité de différer à nouveau la mise en charge et de prolonger la durée d'hospitalisation.

Complication infectieuse

Une infection locale à staphylocoque doré en regard du gros orteil après chirurgie de Mac Bride. Guérison après antibiothérapie générale, soins locaux et aménagement de l'orthèse.

Complications urinaires

Il s'agit de fuites urinaires à la toux ou à l'effort de deux types :
– en postopératoire immédiat, en particulier pendant le premier mois (le patient est souvent allongé afin de posturer certaines articulations), alors que le patient n'en avait pas avant l'intervention. Nous pensons que ces fuites sont à rattacher d'une part au relâchement musculaire général postopératoire, y compris des muscles du plancher pelvien, et d'autre part à la prise des myorelaxants que nous donnons afin de mieux tolérer certaines postures de jour et de nuit. Ces fuites disparaissent progressivement avec le temps sans traitement spécifique, hormis la diminution des myorelaxants et le travail musculaire avec reprise de la verticalisation.

– durant l'ensemble du séjour, avec des fuites urinaires à l'effort, des mictions plus ou moins impérieuses (probablement minimisées avant la chirurgie car les possibilités de déambulation et les efforts demandés sont moindres) qui sont atténuées par l'éducation du patient et par la prise d'anticholinergiques à dose filée. Les bilans urodynamiques sont non spécifiques.

Complications douloureuses

– Les douleurs d'origine musculo-tendineuse ne sont pas considérées comme une vraie complication. Elles sont traitées par antalgiques et par modulation de la rééducation. Elles sont néanmoins parfois très gênantes, obligeant à l'arrêt de la rééducation pendant quelques jours. Nous n'avons pas retrouvé de caractère systématique à ces douleurs, ni dans leur localisation, ni dans leur intensité.
– Les douleurs d'origine neurologique alors qu'il n'y a pas eu de geste direct sur les nerfs (3 cas). En cas de douleurs neurologiques la récupération fonctionnelle est plus longue, ce qui explique la lenteur de récupération postopératoire de l'EMFG.
– Nous avons rencontré à 2 reprises chez des garçons, des problèmes de douleurs neurologiques par atteinte bilatérale du sciatique poplité interne et externe dans 1 cas (transfert bilatéral et ostéotomie de dérotation tibiale unilatérale), et par atteinte neurogène unilatérale de l'EPGO et pédieux dans l'autre cas (transfert bilatéral et ostéotomie de dérotation tibiale bilatérale).

Ces douleurs ont été en partie accessibles au traitement par neuroleptiques mais n'ont jamais complètement rétrocédé dans le premier cas. Un autre garçon a présenté des névralgies du gros orteil et du mollet d'un côté sans qu'il y ait eu de geste osseux.

Ces complications neurologiques sont survenues sur les premiers patients traités par chirurgie multisites dans le cadre de « *crouch gait* » prononcé, alors que le protocole de contentions postopératoires immédiat consistait en résines circulaires cruro-pédieuses abandonnées par la suite au profit de résines bivalves cruro-malléolaires. Ce changement de protocole a fait disparaître ce type de complications.

– Douleurs et hypertrophies des cicatrices d'intervention : traitées par compression à temps plein, application locale de pommade (Lipikar®) et massage transversal.
– Douleurs lombaires : la verticalisation puis les nouvelles capacités de marche génèrent dans certains cas des douleurs lombaires, d'autant plus que le périmètre de marche était limité avant l'intervention. Il s'agit de douleurs articulaires (apophyses articulaires postérieures) sur hyperlordose lombaire, y compris si le patient a bénéficié d'un relâchement des fléchisseurs de hanches. Le traitement associe une kinésithérapie spécifique et la mise en place d'un corset bivalve, à porter le jour (25).

Le suivi à moyen et long terme

Un contrôle postopératoire est prévu en traitement ambulatoire 3 mois après la sortie.

Il permet de vérifier :

– l'absence de régression clinique et fonctionnelle ou l'éventuelle amélioration ;
– le bon respect du protocole de rééducation postopératoire (postures diurnes et nocturnes) ;

– la vérification à distance de l'appareillage postural et fonctionnel ainsi que sa bonne gestion dans le quotidien familial et scolaire ;
– la bonne intégration de l'enfant avec son handicap dans son milieu scolaire et familial.

Cette consultation permet de proposer des solutions aux difficultés rencontrées ou d'apporter des réponses à des interrogations de l'enfant et de sa famille après qu'ils aient été confrontés à leur quotidien.

Les bilans de ces patients sont habituellement faits par le service de l'Escale à un an postopératoire selon le même protocole que celui utilisé en préopératoire.

La surveillance clinique et orthétique au-delà de la première année postopératoire revient au service de rééducation pédiatrique de l'Escale pour tous les enfants de moins de 15 ans, le centre des Massues prenant en charge ceux de plus de 15 ans.

Si l'enfant n'est pas suivi par une structure spécialisée en neuro-orthopédie, il est revu à un an postopératoire puis, en fonction du niveau fonctionnel et du risque évolutif, tous les six mois ou tous les ans pour contrôler la bonne évolution et réajuster l'appareillage.

Une fois par an, sont réalisés un bilan vidéo et un IDE. Globalement, ces contrôles montrent une amélioration du niveau fonctionnel avec une progression favorable dans l'évolution des aides techniques, une amélioration de l'efficacité de la marche et une diminution régulière de l'IDE (26, 27).

Analyse statistique portant sur les 31 premiers diplégiques opérés

Une étude statistique a été menée sur les 31 premiers enfants rééduqués aux CMCR des Massues.

La présentation de la population prendra en compte la moyenne d'âge de la chirurgie en fonction des sexes, les niveaux scolaires, la coopération à la rééducation pendant le séjour et le niveau fonctionnel préopératoire de l'enfant comparé à son niveau à la sortie du centre.

Nous étudierons l'évolution entre l'état préopératoire et à la sortie du centre de :
– l'IDE ;
– l'EMFG : pour les scores cibles et les rubriques D (position debout) et E (marche, course, saut).

Nous rechercherons l'existence d'une corrélation entre la durée de l'hospitalisation et :
– l'âge de la chirurgie ;
– les stades de Gillette pré- et postopératoires ;
– les classes d'âges.

Nous étudierons enfin les corrélations non paramétriques entre :
– score cible et IDE ;
– stade de Gillette et IDE.

Population

– Ces 31 enfants opérés des 2 membres inférieurs sont répartis en 13 filles (42 %) et 18 garçons (58 %).
– La moyenne d'âge à la chirurgie est à 12,75 ans :
- filles : 12,30 ans (minimum 5,66 – maximum 19,16) ;
- garçons : 13,07 ans (minimum 9 – maximum 16,5).

On peut penser que l'aggravation fonctionnelle qui motive la décision chirurgicale est plus précoce chez les filles compte tenu du décalage du début de la puberté.
– Scolarité.

	Fréquence	*Pourcentage*
Impossible	3	9,6
Normale	11	35,48
Retard	12	38,70
Adaptée	4	12,90
Non scolarisée	1	3,2

– Coopération de l'enfant à sa rééducation.

	Fréquence	*Pourcentage*
Ne coopère pas	1	3,2
Mauvaise coopération	2	6,4
Coopération moyenne	6	19,35
Bonne coopération	9	29
Excellente coopération	13	42

– Progression fonctionnelle à partir de la classification de Gillette.

Classes de Gillette	*Gillette préopératoire*	*Gillette postopératoire*
< 5	6 (19,4 %)	0
6. 7.	9 (29 %)	9 (29 %)
8. 9. 10.	16 (51,60 %)	22 (71 %)

Résultats statistiques des données de l'IDE et de l'EMFG entre l'état préopératoire et la sortie du centre de rééducation

Comparaison des valeurs pré- et postopératoires de l'Index de Dépense Énergétique (IDE)

Le tableau suivant compare tous les IDE préopératoires à tous les IDE postopératoires. Il n'y a pas forcément le même nombre d'IDE en pré- et en postopératoire.

	IDE préopératoire (n = 23)	*IDE postopératoire (n = 31)*
Moyenne	2,84	3,95
Médiane	2,66	3,60
Écart-type	0,97	2,14
Minimum	1,60	1,56
Maximum	5,36	11,11

Commentaires

– L'IDE préopératoire par rapport à l'IDE postopératoire calculé sur les bilatéraux et uniquement avec les index en notre possession en pré- *et* postopératoire, soit 23 cas :
  - moyenne préopératoire = 2,84 ;
  - moyenne postopératoire = 3,28.

– La différence entre les deux moyennes est à + 0,44 (p = 0,024), les deux variables sont différentes. La corrélation est bonne à 0,698.

– Il y a augmentation de l'IDE postopératoire par rapport à l'IDE préopératoire, c'est-à-dire que lorsque le patient quitte le centre de rééducation, l'IDE n'est pas encore revenu au stade préopératoire.

– Dans 4 cas, l'IDE préopératoire était impossible à calculer ; la moyenne de ces 4 cas en postopératoire est de 7,63 dont 1 (retension du système extenseur) qui, avec un IDE postopératoire de 3,6 fait chuter cette moyenne, qui serait sinon à 9.

– On a effectivement l'impression qu'en moyenne, l'IDE à la sortie est encore supérieur à l'IDE préopératoire.

– Les IDE intermédiaires montrent une très forte augmentation en postopératoire, puis ils s'améliorent jusqu'à la sortie.

– Les IDE de sortie les plus forts concernent généralement des enfants qui auraient perdu la marche en préopératoire et dont l'IDE préopératoire n'était généralement pas réalisable.

– Il semble que les enfants qui ont un bon IDE préopératoire récupèrent plus vite en postopératoire ; leur séjour en rééducation est également plus court.

– Il serait logique de penser que plus l'hospitalisation est longue, plus l'IDE baisse et donc se rapproche ou devient inférieur à l'IDE préopératoire ; cependant, les enfants dont la durée d'hospitalisation est plus longue ont un IDE préopératoire plus élevé.

– En fait, la durée d'hospitalisation est liée à l'IDE préopératoire avec un coefficient de corrélation (r) = 0,42 et p = 0,04 ; plus l'IDE préopératoire est haut, plus la durée

d'hospitalisation est longue. Par contre, la durée d'hospitalisation n'est pas liée à l'IDE postopératoire (r = 0,28 ; p = 0,18).
– Il serait intéressant de pouvoir établir une courbe de récupération postopératoire de l'IDE en fonction du temps postopératoire.

Comparaison des valeurs pré- et postopératoires de l'EMFG concernant la rubrique D, la rubrique E et le score cible

EMFG rubrique D (position debout)
– Le tableau ci-dessous recense toutes les EMFG D préopératoires, puis toutes les EMFG D postopératoires. Il n'y a pas forcément le même nombre d'EMFG D en pré- et en postopératoire.

	EMFG D préopératoire (n = 31)	***EMFG D postopératoire (n = 30)***
Moyenne	79,53	77,09
Médiane	82,05	79,48
Écart-type	17,80	15,77
Minimum	28,20	25
Maximum	98,97	100

– Pour les patients non marchants :
 - moyenne préopératoire = 62,82 ;
 - moyenne postopératoire = 68,55.
 Pas de différence significative entre les deux moyennes (p = 0,16).

EMFG Rubrique E (marche, course, saut)
– Le tableau suivant recense toutes les EMFG E préopératoires, puis toutes les EMFG E postopératoires réalisées sans appareillage. Il n'y a pas forcément le même nombre d'EMFG E en pré- et en postopératoire.

	EMFG E préopératoire (n = 31)	***EMFG E postopératoire (n = 30)***
Moyenne	66,34	59,09
Médiane	61,36	55,55
Écart-type	26,33	26,34
Minimum	18,05	19,40
Maximum	100	100

– La différence entre les deux moyennes est significative (p = 0,009).
– Pour les patients sans marche autonome :
 - moyenne préopératoire = 40,62 ;
 - moyenne postopératoire = 35,38.

EMFG Scores cibles (D+E)/2

– Le tableau suivant recense tous les scores cibles préopératoires, puis tous les scores cibles postopératoires. Il n'y a pas forcément le même nombre de score cible en pré- et en postopératoire.

	EMFG cible préopératoire	***EMFG cible postopératoire***
Moyenne	73,79	69,39
Médiane	76,81	67,74
Écart-type	21,86	18,73
Minimum	23,80	31,61
Maximum	97,43	98,72

– Pour les 21 patients pour lesquels les scores cibles sont renseignés en pré- et en postopératoire :
  - moyenne préopératoire = 80,19 (ET = 18,94 ; IC = 71,57 à 88,82) ;
  - moyenne postopératoire = 74,77 (ET = 17,86 ; IC = 66,64 à 82,90).

  Pas de différence significative entre les deux moyennes.

– Pour les patients sans marche autonome :
  - moyenne préopératoire = 51,47 ;
  - moyenne postopératoire = 51,76.

Remarques sur l'EMFG

– Lorsque l'on réalise les tests d'EMFG sans attelles jambières, on note une petite diminution des scores de la rubrique D et une diminution plus nette des scores de E. Avec attelles, ces scores sont nettement meilleurs.

– Il semble que les aponévrotomies et les allongements, notamment des IJ, libèrent des secteurs angulaires qui ne peuvent pas être correctement exploités du fait de l'incapacité des antagonistes à agir dans ces secteurs (angle mort).

– Mais le réajustement des longueurs et des forces musculaires se fait progressivement, aidé par l'appareillage court ; ce dernier supplée en partie au déficit d'ajustement musculaire des extenseurs du genou, voire des soléaires (s'ils sont distendus) en les maintenant en position courte, ainsi que les fessiers par le jeu de l'équilibration sagittale.

– La retension de l'appareil extenseur correspond à un rééquilibrage chirurgical de cet ajustement de longueur quadriceps / ischio-jambiers et semble apporter une amélioration plus rapide des performances fonctionnelles. L'EMFG préopératoire différant peu de l'EMFG postopératoire, il serait intéressant d'évaluer l'impact d'une chirurgie de retension de l'appareil extenseur sur ces scores.

Étude de corrélation entre la durée moyenne d'hospitalisation, l'âge de la chirurgie, les stades de Gillette pré- et postopératoires, les classes d'âge

Durée moyenne d'hospitalisation

– Opérés bilatéraux = 4,3 mois.
– Opérés unilatéraux = 2,5 mois.
La différence entre les deux moyennes est significative : p = 0,012.

Corrélation entre la durée d'hospitalisation et l'âge à la chirurgie

	Âge à la chirurgie	*Durée de l'hospitalisation*
Moyenne	12,66 ans	4,31 mois
Médiane	13,00 ans	4,00 mois
Écart-type	2,97 ans	1,27 mois
Minimum	5,66 ans	2,00 mois
Maximum	19,16 ans	7,0 mois

– Il n'y a pas de corrélation significative entre l'âge de la chirurgie et la durée d'hospitalisation pour les opérés bilatéraux. Le Spearman est proche de 0 (0,056).
– Mais de nombreux autres facteurs jouent sur la durée d'hospitalisation :
  - le contexte social et familial ;
  - la qualité et la possibilité du suivi à la sortie du centre (diminue la durée) ;
  - le risque évolutif (augmente la durée) ;
  - le contexte psychologique (enfant en bas âge, enfant opposant ou difficile, angoissé, famille hyperprotectrice…) ;
  - la pression des parents pour hâter la reprise de la scolarité en milieu ordinaire ;
  - la recherche d'un objectif qualitatif, parfois plus difficile à obtenir qu'un objectif purement fonctionnel.

Corrélation entre la durée d'hospitalisation et le Gillette pré- et postopératoire

	Gillette préopératoire (n = 31)	*Gillette postopératoire (n = 31)*
Moyenne	6,61	7,77
Médiane	7,00	8,00
Écart-type	2,57	1,23
Minimum	1	4
Maximum	9	10

– La différence des moyennes pré- et postopératoires est significative (p = 0,006).
– Durée d'hospitalisation et Gillette préopératoire : le coefficient de corrélation est à - 0,29 donc pas ou peu corrélé ; le p est à 0,11.
– Durée d'hospitalisation et Gillette postopératoire : le coefficient de corrélation est négatif à -0,41 et le p est significatif à 0,015.

Plus le Gillette est bas, plus la durée d'hospitalisation est longue afin d'améliorer au maximum le Gillette avant de faire sortir l'enfant.

– Durée d'hospitalisation et différence entre Gillette pré- et postopératoire : pas de corrélation = 0,10.

Corrélation entre la durée d'hospitalisation et la répartition des patients en classes d'âge

Classes d'âge	*Fréquence*	*Pourcentage*
< 11 ans	7	22,58 %
11< âge <14	18	58 %
> 14	6	19,35 %

– Tous les patients sont mélangés aussi bien les bilatéraux que les unilatéraux.

Pas de corrélation entre ces trois classes d'âge et la durée d'hospitalisation.

Corrélations non paramétriques

Entre la différence (préopératoire puis fin de séjour en rééducation) de score cible et d'IDE

	IDE préopératoire / IDE postopératoire	*Score cible préopératoire / score cible postopératoire*
Moyenne	- 0,44	+ 4,29
Médiane	- 0,33	+ 3,39
Écart-type	0,88	12,03
Minimum	- 1,12	- 13,10
Maximum	1,12	35,2

– La différence d'IDE et la différence de score cible sont corrélées ; p = 0 aussi bien en préopératoire qu'en postopératoire.

Entre la différence (préopératoire puis fin de séjour en rééducation) de Gillette et d'IDE

– IDE préopératoire et Gillette préopératoire sont corrélés : r = - 0,66 et p = 0,001.
– IDE postopératoire et Gillette postopératoire sont corrélés : r = - 0,589 et p = 0,000.
Si l'IDE baisse, le Gillette augmente : variations en sens inverse.
– Le Gillette et le score cible varient dans le même sens.

Discussion

Sur les 51 dossiers de patients hospitalisés

Il est essentiel que les enfants en triple flexion prononcée, ayant perdu ou en voie de perdre la marche en préopératoire, aient un suivi régulier en postopératoire jusqu'en fin de croissance pour maintenir, voire améliorer les résultats obtenus à la sortie du centre de rééducation. Des débuts de régression orthopédique ont été observés après ablation à six mois des contentions nocturnes chez ce type d'enfants.

On a noté une régression complète d'un enfant deux ans après l'intervention (forte triple flexion préopératoire) dans un cadre familial difficile, avec non-respect du protocole de posture préconisé. Une récupération de l'état postopératoire a pu être obtenu par une rééducation intensive associée à des injections de toxine botulique au cours d'un nouveau séjour de cinq mois au centre de rééducation.

Quelques enfants opérés dans leur jeune âge (5-6 ans), au début de notre pratique de la chirurgie multisites, semblent avoir des difficultés à maintenir les résultats postopératoires à distance. Mais l'émergence de la toxine botulique dans les techniques de soins ferait à ce jour probablement reconsidérer l'indication chirurgicale et donne une nouvelle approche à la gestion des indications de traitement de l'enfant IMC.

Certains chirurgiens complètent la chirurgie multisites par des gestes de neurotomie. Il sera intéressant de comparer le résultat à long terme par rapport aux enfants n'ayant pas bénéficié de neurotomie.

La toxine a aussi sa place à prendre pour compléter les gestes chirurgicaux et peut participer à améliorer le résultat postopératoire en cas de difficultés sur un groupe musculaire opéré ou améliorer l'activité tonique d'un muscle non opéré dans le cadre de la marche.

Sur les 31 dossiers de l'étude statistique

La moyenne d'âge de nos patients opérés se situe à 13 ans : un peu plus âgés chez les garçons (13,50), que chez les filles (12,50).

On remarque que pour les patients opérés plus tardivement (2 filles opérées à plus de 17 ans et un garçon à plus de 16 ans 1/2), ou pour ceux qui avaient pratiquement perdu la marche, la durée moyenne de séjour était plus longue (> 5 mois) avec davantage de complications (douleurs) et de difficultés pour retrouver le niveau moteur préopératoire.

À 4 mois 1/2 en postopératoire, on observe en moyenne :
– une amélioration du niveau fonctionnel de la marche de 1,1 point sur les 10 points de l'échelle de Gillette. Cette amélioration fonctionnelle se fait avec un coût énergétique mesuré à l'IDE de 1,1 point supérieur au coût initial ;
– une diminution de l'EMFG score cible de 4 % ;
– une amélioration de la qualité de la marche.

On peut considérer que les progrès fonctionnels s'expriment assez rapidement, mais compte tenu de l'importance du geste chirurgical, il faut plus de temps à l'organisme pour s'adapter aux modifications des longueurs musculaires (et des axes osseux éventuellement), ce qui se traduit par une récupération plus lente de l'IDE.

L'IDE et le Gillette sont mesurés avec appareillage, contrairement à l'EMFG ; cet appareillage supplée aux problèmes d'ajustement de longueur des muscles antagonistes aux muscles allongés. Seul un enfant dont l'allongement des ischio-jambiers avait été associé à une retension de l'appareil extenseur a vu son EMFG nettement améliorée.

En effet, l'allongement des ischio-jambiers entraîne une détente du quadriceps, dont le tendon est déjà distendu (rotules hautes) : l'angle mort du quadriceps persiste au-delà des quatre mois postopératoires.

L'allongement du triceps entraîne une détente des releveurs de pied et une perte de la propulsion (sauts).

La récupération incomplète des amplitudes de flexion de genou pénalise la réalisation de certains items (assis sur les talons ou au sol...). Elle n'est pas recherchée en priorité chez des enfants dont le risque de récidive de la triple flexion est majeur.

Conclusion (28)

La chirurgie multi-étagée de l'IMC à potentiel de marche ou marchant est indissociable d'une évaluation préopératoire minutieuse et d'un suivi postopératoire spécialisé et pluridisciplinaire.

La surveillance orthopédique et fonctionnelle doit se poursuivre tant que la croissance n'est pas terminée, surtout si le niveau fonctionnel préopératoire de l'enfant était limité, si le relais familial est mal assuré, ou si l'enfant vit loin de toute structure spécialisée.

Il ne semble pas raisonnable d'envisager ce type de chirurgie chez des enfants non marchants avec un potentiel moteur mais présentant des troubles du comportement, de la compréhension (3 mauvais résultats chez les 3 cas de l'étude) et de la communication (absence de langage parlé).

Depuis cette étude, des retensions de l'appareil extenseur ont été réalisées de façon plus fréquente. En accord avec l'étude de Beals (29), il semble que la retension de l'appareil extenseur permette d'obtenir de meilleurs résultats fonctionnels à court terme en postopératoire.

Nous avons aussi intensifié le travail des muscles sous-pelviens et lombaires, notamment chez les enfants marchant en « *crouch gait* » majeur en préopératoire.

L'utilisation de l'isocinétisme, outre le renforcement musculaire ciblé et intensif, permet d'évaluer l'équilibre des forces musculaires agonistes et antagonistes dont l'évolution semble intéressante à étudier à plus long terme et dont il serait souhaitable de pouvoir faire le bilan en préopératoire.

L'amélioration de l'IDE semble évoluer favorablement après la sortie.

L'évaluation et le réglage des troubles rotationnels osseux restent encore chirurgicalement délicats et posent des problèmes dans les suites chirurgicales.

Une partie de la population récemment opérée a bénéficié d'une analyse quantifiée de la marche dans le cadre de l'étude « Soutien aux Thérapeutiques Innovantes Coûteuses - Analyse Quantifiée de la Marche » (STIC-AQM), ce qui nous permettra de comparer la progression de ces enfants sur le plan qualitatif et quantitatif.

Annexe

Premier patient : D. A.

– Adolescent diplégique spastique âgé de 14,5 ans, opéré le 19 novembre 2004 pour une chirurgie multisites qui consistait, des deux côtés, en :
    - une ténotomie des adducteurs, proximale et basse du droit interne, distale du demi-tendineux qui est réinséré sur le demi-membraneux ;
    - un allongement en chevron du demi-membraneux et du proximal du droit fémoral ;
    - une neurotomie du nerf destiné au droit fémoral, du nerf destiné au biceps fémoral, du nerf destiné au demi-membraneux et demi-tendineux.
– Le renforcement musculaire, en isocinétique, a débuté le 5 janvier 2005, à J45.
– Objectif du travail : renforcement des extenseurs des genoux droit et gauche.

	Genou droit		***Genou gauche***	
	120°/sec	***90°/sec***	***120°/sec***	***90°/sec***
PC	+ 63 % (34Nm soit 85 % poids)	+ 44 % (36Nm soit 90 % poids)	+ 23 % (36Nm soit 90 % poids)	+ 45 % (45Nm soit 112 % poids)
TTS	+ 75 %	+ 32 %	+ 28 %	+ 40 %
TA	- 41 %	- 43 %	- 39 %	- 9 %
AA	+ 4 °	0 °	+ 4 °	+ 5 °
Ratio F/E	0,56	0,56	0,62	0,61

Deuxième patient : L. C.

– Adolescent diplégique spastique âgé de 17 ans, opéré le 7 octobre 2004 pour une chirurgie multisites qui consistait des deux côtés, en :
    - un allongement des ischio-jambiers internes (demi-membraneux) ;

- une désinsertion haute du gracile ;
- une désinsertion basse du droit fémoral qui est transféré sur le gracile ;
- un allongement des adducteurs ;
- un abaissement de rotule ;
- un allongement des gastrocnémiens ;
- une correction de l'*hallux valgus.*

– Le renforcement musculaire en isocinétisme a débuté le 17 décembre 2004 à 2 mois postopératoire pour les ischio-jambiers, à 3 mois postopératoire pour le quadriceps.
– Objectif du travail : renforcement des fléchisseurs des genoux droit et gauche.

	Genou droit		***Genou gauche***	
	120°/sec	***90°/sec***	***120°/sec***	***90°/sec***
PC	+ 24 % (17,5Nm soit 39 % poids)	+ 97 % (15Nm soit 33,3 % poids)	+ 44 % (15Nm soit 33,3 % poids)	+ 80 % (25Nm soit 55,6 % poids)
TTS	+ 44 %	+ 80 %	+ 44 %	+ 93 %
TA	- 41 %	- 19 %	- 32 %	- 20 %
AA	+ 5 °	0 °	0 °	+ 5 °
Ratio F/E	0,25	0,22	0,23	0,28

Troisième patient : M. Z.

– Adolescente diplégique spastique âgée de 13 ans, opérée le 2 juillet 2004 pour une chirurgie multisites qui consistait des deux côtés, en :
  - un allongement des ischio-jambiers internes (demi-tendineux, demi-membraneux) ;
  - un allongement du gracile ;
  - une ostéotomie de dérotation fémorale.
– Le renforcement musculaire, en isocinétisme, a débuté le 20 octobre 2004, à 3,5 mois postopératoire.
– Objectif : renforcement des fléchisseurs des genoux droit et gauche.
– À noter : les séances de renforcement des fléchisseurs gauches ont été suspendues du fait de douleurs au niveau du fémur gauche liées au matériel d'ostéosynthèse. Les résultats analysés à gauche ne portent que sur la vitesse de 120°/sec.

	Genou droit		***Genou gauche***	
	120°/sec	***90°/sec***	***120°/sec***	***90°/sec***
PC	+ 14 % (15Nm soit 32 % poids)	+ 12.5 % (17Nm soit 36 % poids)	+ 6 % (12Nm soit 25,5 % poids)	-
TTS	+ 20,5 %	+ 11 %	+ 8 %	-
TA	- 32 %	- 44 %	- 21 %	-
AA	+ 5 °	+ 3 °	- 5 °	-
Ratio F/E	0,28	0,24	0,25	-

Quatrième patient : D. A.

– Tétraparétique spastique opéré le 1er octobre 2004 pour une neurotomie du droit fémoral et du demi-tendineux associée à un allongement des ischio-jambiers internes bilatéraux.
– L'isocinétisme débute le 6 décembre 2004.
– Objectif : renforcement des fléchisseurs des genoux droit et gauche.

	Genou droit		*Genou gauche*	
	120°/sec	*90°/sec*	*120°/sec*	*90°/sec*
PC	+ 40 % (31Nm soit 40 % poids)	+ 40 % (31Nm soit 40 % poids)	+ 4 % (36Nm soit 47 % poids)	+ 10 % (21Nm soit 27 % poids)
TTS	+ 45 %	+ 206 %	+ 20 %	+ 41 %
TA	- 50 %	- 58 %	- 16 %	- 87,5 %
AA	+ 1 °	+ 15 °	+ 7 °	+ 14 °
Ratio F/E	0,27	0,29	0,27	0,2

Références

1. Verhille N, Delahaye C, Evain *et al.* (2001) Principes de rééducation après interventions multifocales chez des enfants présentant des séquelles de souffrance cérébrale précoce. Kinésither Scientifique (414): 15-24
2. Penneçot GF L'enfant diplégique marchant. In : SOFCOT. Conférences d'Enseignement 2000. Cahier n°73. p 265-76
3. Sutherland DH, Larsen LJ, Mann R (1975) Rectus femoris release in selected patients with cerebral palsy: a preliminary report. Dev Med Child Neurol 17 (1): 26-34
4. Gage JR (1990) Surgical treatment of knee dysfunction in cerebral palsy. Clin Orthop Relat Res (253): 45-54
5. Gage JR, Perry J, Hicks RR *et al.* (1987) Rectus femoris transfer to improve knee function of children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol ; 29 (2): 159-66
6. Gage JR, Deluca PA, Renshaw TS (1995) Gait analysis : principles and applications. J Bone Joint Surg ; 77-A (10): 1607-23
7. Carney BT, Oeffinger D (2003) Sagittal knee kinematics following combined hamstring lengthening and rectus femoris transfer. J South Orthop Assoc 12 (3): 149-53
8. Yngve DA, Scarborough N, Goode B *et al.* (2002) Rectus and hamstring surgery in cerebral palsy: a gait analysis study of results by functional ambulation level. J Pediatr Orthop 22 (5): 672-6
9. Van der Linden MI, Aitchison AM, Hazlewood ME *et al.* (2003) Effects of surgical lenthening of the hamstrings without a concomitant distal rectus femoris transfer in ambulant patients with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 23 (3): 308-13
10. Ounpuu S, Muik E, Davis RB3rd *et al.* (1993) Rectus femoris surgery in children with cerebral palsy. Part I: The effect of rectus femoris transfer location on knee motion. J Pediatr Orthop 13 (3): 325-30

11. Ounpuu S, Muik E, Davis RB3rd *et al.* (1993) Rectus femoris surgery in children with cerebral palsy. Part II: A comparison between the effect of transfer and release of the distal rectus femoris on knee motion. J Pediatr Orthop 13 (3): 331-5
12. DeLuca PA, Davis RB3rd, Ounpuu S *et al.* (1997) Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three-dimensional gait analysis. J Pediatr Orthop 17 (5): 608-14
13. Rose SA, DeLuca PA, Davis RB3rd *et al.* (1993) Kinematic and kinetic evaluation of the ankle after lengthening of the gastrocnemius fascia in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 13 (6): 727-32
14. Steinwender G, Saraph V, Zwick EB *et al.* (2001) Fixed and dynamic equinus in cerebral palsy: evaluation of ankle function after multilevel surgery. J Pediatr Orthop 2001 21 (1): 102-7
15. Saraph V, Zwick EB, Uitz C *et al.* (2000) The Baumann procedure for fixed contracture of the gastrosoleus in cerebral palsy. Evaluation of function of the ankle after multilevel surgery. J Bone Joint Surg Br 82 (7): 1084-5
16. Perry J, Hoffer MM (1977) Preoperative and postoperative dynamic electromyography as an aid in planning tendon transfers in children with cerebral palsy. J Bone Joint Surg Am 59 (4): 531-7
17. Bérard J, Cunin V, Chotel F (2005) Techniques chirurgicales. In : Cottalorda J, Bourelle S, Chotel F, Dohin B. L'infirme moteur cérébral marchant. Sauramps Médical, p 151-68
18. Gage JR. Distal hamstring lengthening/release and rectus femoris transfer (chap. 25). In : Sussman MD (ed). The diplegic child. Rosemont, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1992. p 317-36
19. Dohin B, Kohler R (2005). Le traitement de la spasticité. In : Cottalorda J, Bourelle S, Chotel F, Dohin B. L'infirme moteur cérébral marchant. Sauramps Médical, p 125-41
20. Bernard JC, Bagnol M, Baud S *et al.* (2001) Prise en charge post-opératoire des enfants et adolescents cérébro-lésés. J Orthop (11): 484-95
21. Chaléat-Valayer E, Vial C (2002) Mode d'action de la toxine botulique. Spasticité ; (4): 17
22. Morel E, Bernard JC, Chaléat-Valayer E *et al.* (2004) Injections multisites de toxine botulique chez l'enfant Infirme Moteur Cérébral : rééducation et appareillage (à partir de l'expérience du service enfants du Centre des Massues). Kinésither Ann ; (32-33): 28-36
23. Gobelet C (1985) Force isocinétique : de l'enfant à l'adulte. In : Simon L. Actualités en Rééducation Fonctionnelle et Réadaptation. 10e série. Masson, p 49-54
24. Bérard C, Cristol C (1998) Évaluation fonctionnelle de la marche par l'index de dépense énergétique : valeurs de référence chez l'enfant. Ann Réadapt Med Phys 41: 429-33
25. Morrell DS, Pearson JM, Sauser DD (2002) Progressive bone and joint abnormalities of the spine and lower extremities in cerebral palsy. Radiographics ; 22 (2): 257-68
26. Saraph V, Zwick EB, Zwick G *et al.* (2002) Multilevel surgery in spastic diplegia: evaluation by physical examination and gait analysis in 25 children. J Pediatr Orthop 22 (2): 150-7
27. Abel MF, Damiano DL, Pannunzio M *et al.* (1999) Muscle-tendon surgery in diplegic cerebral palsy :functional and mechanical changes. J Pediatr Orthop 19 (3): 366-75
28. Gough M, Eve LC, Robinson RO *et al.* (2004) Short-term outcome of multilevel surgical intervention in spastic diplegic cerebral palsy compared with the natural history. Dev Med Child Neurol 46 (2) : 91-7

29. Beals RK (2001) Treatment of knee contracture in cerebral palsy by hamstring lenthening, posterior capsulotomy, and quadriceps mechanism shortening. Dev Med Child Neurol 43 (12): 802-5

Insuffisant moteur cérébral à potentiel ambulatoire et baclofène intrathécal

P. Filipetti, É. Kolanowski, C. Bleyenheuft, P. Menei, P. Decq et Y. Delpierre

Les enfants présentant une insuffisance motrice cérébrale (IMC) suivent un parcours semé d'embûches tout au long de leur croissance. Ils doivent s'adapter au déséquilibre moteur et aux troubles du tonus qui évoluent avec le temps, aux poussées de croissance et à la prise pondérale. Certains d'entre eux sont pénalisés d'emblée par l'importance du désordre moteur ou perdent en chemin certaines compétences motrices difficilement acquises. Parmi elles, la locomotion représente un réel enjeu pour le maintien d'un certain niveau d'autonomie, même avec l'usage d'aides techniques ou pour un faible périmètre de déplacement.

Dès leur plus jeune âge, une grande partie des enfants IMC subissent une « rigidification » des segments corporels liée à une spasticité volontiers plurifocale et aux mécanismes de co-contractions à l'origine de la pauvreté de l'expression motrice et de modestes acquisitions fonctionnelles. L'émergence d'une motricité « libérée » est habituellement facilitée par des techniques spécifiques d'éducation motrice, l'utilisation d'orthèses de maintien ou de fonction ainsi que des injections régulières d'agents neurolytiques (toxine botulinique, phénol).

L'arsenal thérapeutique s'intéressant à l'excès de tonus fait parfois appel à des techniques chirurgicales ciblées et définitives (neurotomies partielles et sélectives, radicotomies postérieures) et s'est récemment enrichi avec la possibilité d'utiliser le baclofène intrathécal, jusqu'à présent réservé aux atteintes médullaires et encéphaliques fixées ou évolutives (1-4).

Nous avons sélectionné 6 patients IMC « à potentiel ambulatoire » qui ont été testés avec du baclofène intrathécal en infusion continue et une pompe programmable externe. Cette procédure, validée dans le Service de Neurochirurgie de l'Hôpital Henri Mondor (Créteil), nous a permis d'évaluer les modifications de la performance de marche sous différents dosages avec un effet prédictif sur la mise en place d'une pompe interne, et a été suivie d'une implantation définitive pour tous les patients explorés.

Patients, méthode et matériel

Pour cette étude, 6 patients présentant une IMC avec spasticité diffuse (tableau I) ont été sélectionnés : 2 sujets masculins et 4 féminins, âgés en moyenne de 16 ans (extrêmes : 11 ans et 22 ans), 2 diplégiques et 4 quadriplégiques, classés, selon la classification de Rodda et Graham (5), en *true equinus* (2 TE), *apparent equinus* (1 AE), *crouch gait* (3 CG) et en score de Gillette (6). Tous les patients disposent d'un fauteuil roulant (4 à temps complet et 2 à temps partiel), 3 ont un périmètre de marche supérieur à 10 mètres avec aide technique (1 déambulateur, 1 canne tripode, 1 canne anglaise), 1 un périmètre de marche inférieur à 10 mètres (avec déambulateur). Tous ont des possibilités de propulsion (force suffisante des membres inférieurs et propulsion proximale pour les membres inférieurs) et un potentiel de déambulation, au moins « d'intérieur », masqué par une spasticité diffuse et l'existence d'anomalies secondaires (rétractions, dislocations). La notion d'une dégradation progressive de la marche est notée pour tous les patients avec, pour 2 d'entre eux, une interruption de la déambulation et, pour 4 patients, la présence de douleurs (genoux et charnière lombo-sacrée).

Tableau I - Patients.

Nombre de patients	*Âge*	*Sexe*	*Type clinique*	*Formes topo-graphiques* *	*FR T Pa T Pl* **	*Périmètre de marche*	*AT* ***	*Score de Gillette*
1	15	Féminin	*Apparent equinus*	DS	T Pa	< 10 mètres	CA	6
2	22	Féminin	*True equinus*	QS	T Pl	< 10 mètres	CT	4
3	16	Masculin	*Crouch Gait*	QS	T Pl	= 0 (transferts +)	0	2
4	11	Féminin	*True equinus*	DS	T Pa	> 10 mètres	D	7
5	22	Féminin	*Crouch Gait*	QS	T Pa	= 0 (transferts +)	0	3
6	12	Masculin	*Crouch Gait*	QS	T Pa	< 10 mètres	D	5

** Formes topographiques : DS = diplégie spastique, QS = quadriplégie spastique*
*** FR = fauteuil roulant. T Pa = temps partiel, T Pl = temps plein*
**** AT = aide technique. D = déambulateur, CT = cannes tripodes, CA = cannes anglaises*

Tous ces patients ont bénéficié de l'implantation d'un cathéter intrathécal relié à un réservoir (placé devant la paroi abdominale) permettant de délivrer le baclofène en mode continu (service de neurochirurgie, CHU d'Angers ; service de chirurgie du Centre de l'Arche, Le Mans) grâce à l'utilisation d'une pompe externe programmable (Smith Graseby 2000) et d'un gripper. Pour limiter le risque infectieux, les tests ont été limités à 72 heures avec une modification du dosage toutes les 12 heures (tableau II). L'extrémité du cathéter a été placée 3 fois au niveau lombaire (L1, L2, L3) et 3 fois en dorsal (1 fois en dorsal haut [T5], 2 fois en dorsal moyen [T8-T9]) pour essayer d'obtenir un effet supplémentaire sur les membres supérieurs.

Tableau II - Résultats des tests après implantation de la pompe à baclofène.

Nombre de patients	*Extrémité distale du cathéter intrathécal*	*Efficacité sur le score d'Ashworth **	*Dose minimale de baclofène efficace (µg/24h) **	*Amélioration fonctionnelle (EMFG 88 et PRS)*	*Implantation pompe après test externe*
1	L3-L4	+	100	+	Implanté
2	L1	+	150	+	Implanté
3	T8-T9	+	90	+	Implanté
4	L2	+	40	+	Implanté
5	T5	+	50	+	Implanté
6	T8-T9	+	85	+	Implanté

** Dose minimale efficace sur le score d'Ashworth = diminution de 2 points sur au moins 2 groupes musculaires au niveau des membres inférieurs*

Au cours des tests, nous avons utilisé le score d'Ashworth (7) afin d'évaluer de façon analytique l'impact de l'infusion de baclofène sur la spasticité. Nous avons aussi utilisé l'Évaluation Fonctionnelle Motrice Globale (EMFG), le *Physician Rating Scale* (PRS) version membre inférieur et l'Analyse Quantifiée du Mouvement (AQM) avant les tests et après l'implantation (service de neurochirurgie, CHU d'Angers ; service de chirurgie du Centre de l'Arche, Le Mans) de la pompe interne (Medtronic programmable) pour une évaluation objective des modifications motrices et de la locomotion (6).

Résultats

Le recul moyen d'implantation de la pompe interne est de 2 ans. Lors des tests avec pompe externe, la diminution du score d'Ashworth de 2 points sur au moins 2 groupes musculaires des membres inférieurs a été notée chez tous les patients. De faibles doses (4O à 150 mg/24 h) ont suffi pour obtenir un effet clinique (tableau III). Le bénéfice sur la « fluidité » des mouvements en décubitus, en position debout et au cours de la marche a été précisé pour chaque enfant par les scores cibles d'EMFG et a permis d'argumenter l'implantation d'une pompe interne.

Le recul moyen d'implantation de la pompe interne est de 2 ans.

Après implantation, les patients sont revus pour une simple consultation une fois par mois avec un réglage du débit de la pompe. Les patients sont suivis régulièrement en utilisant le score d'Ashworth et des tests fonctionnels. Les résultats sur le score d'Ashworth se sont ainsi maintenus en utilisant le curseur « débit » de la pompe. L'amélioration des scores fonctionnels EMFG et PRS a aussi été notée (tableaux III et IV) avec plus de fluidité et d'équilibre dans les mouvements, ainsi que la consolidation d'une marche d'intérieur. Les douleurs se sont estompées et les deux patients qui avaient interrompu leur déambulation l'ont repris. Enfin, les premiers résultats de l'analyse quantifiée du mouvement ont montré une amélioration de certains paramètres

discriminants de la marche (Normalcy Index) (8) comme l'augmentation de la vitesse spontanée de marche ou la diminution du tilt antérieur du bassin.

Nous avons eu 3 complications, 2 fuites de liquide céphalorachidien (traitées médicalement, sans recourir à une reprise chirurgicale) et une méningite chimique (aseptique, avec ablation du cathéter et du site implanté conduisant à une implantation différée de la pompe).

Tableau III - Résultats des tests après implantation de la pompe interne Medtronic programmable : score EMFG 88 (Score maximal : 100 %).

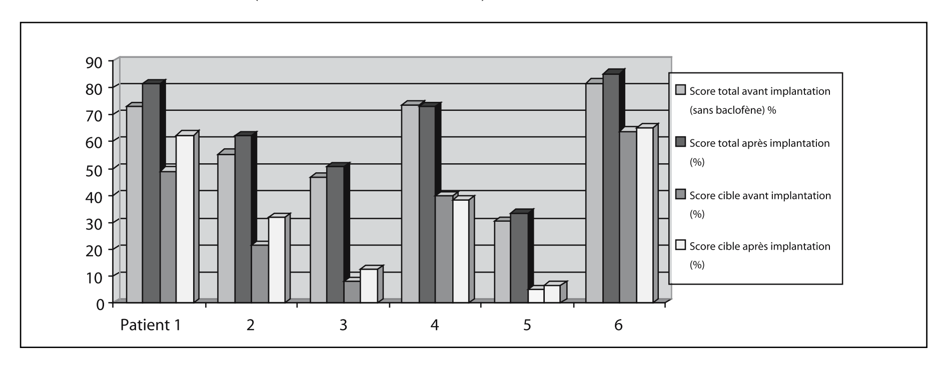
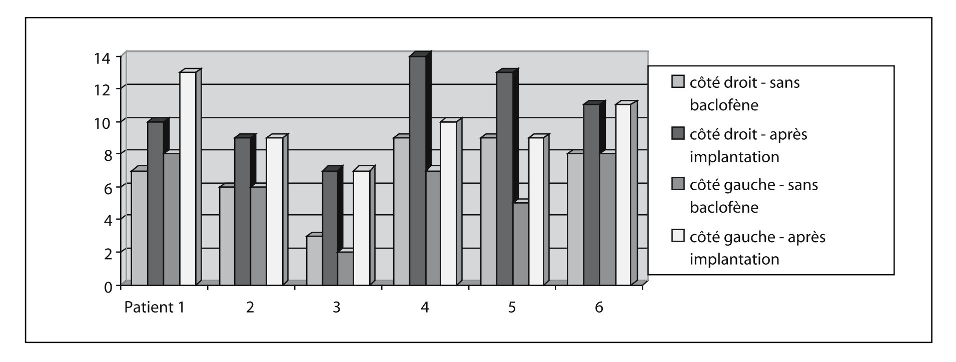


Tableau IV - Résultats des tests après implantation de la pompe interne Medtronic programmable : score PRS membres inférieurs (Score total : 22).



Discussion

L'équilibre moteur de l'enfant IMC est fragile. La propulsion n'est souvent que proximale, perturbée par des rétractions et des troubles de torsion. Lorsqu'une spasticité diffuse s'associe au désordre du mouvement, elle devient vite invalidante, à l'origine de douleurs et d'une perte fonctionnelle. Cette dégradation est insidieuse, avec une diminution progressive du périmètre de marche, bien souvent lors de la prise de poids entre l'âge de 10 ans et la fin de la croissance. Ces jeunes patients qui disposent d'un potentiel locomoteur, au moins pour une marche d'intérieur, basculent en quelques années, parfois moins, vers une dépendance complète en fauteuil roulant.

Deux techniques chirurgicales sont actuellement à discuter devant une spasticité diffuse : la radicotomie sélective postérieure (RSP) et l'implantation d'une pompe à baclofène. La RSP est volontiers réservée au patient diplégique prématuré disposant d'un bon potentiel de propulsion et d'un équilibre suffisant au cours de la marche. La RSP peut être dosée, sélective, asymétrique mais est définitive. La sélection des patients est sévère. L'implantation d'une pompe à baclofène est une technique simple et réversible avec la possibilité de moduler la concentration de baclofène et de disposer de différents programmes (bolus, continu simple, continu complexe). Il n'existe pas ici de « sélection de racines » mais seulement la possibilité de positionner le cathéter un peu plus haut pour essayer d'obtenir un effet sur la spasticité des membres supérieurs.

Ces dernières années, l'enfant IMC a montré une sensibilité confirmée au baclofène intrathécal, comme en témoignent de nombreuses publications (9-26) qui concernent en majorité des enfants non ambulants.

Sur le plan de la procédure test, l'infusion d'un simple bolus est souvent en deçà ou au-delà de l'effet thérapeutique espéré sans aucun effet clinique ou une aggravation du déséquilibre moteur. C'est la raison pour laquelle nous avons opté pour la méthode d'infusion continue par pompe externe programmable pendant la phase des tests. Cette procédure a été initialement diffusée pour des patients dystoniques (6, 27, 28). Elle permet une augmentation plus progressive des doses et une meilleure évaluation du gain fonctionnel. En cas de test positif, la pompe est implantée.

Les trois complications (50 % des cas) sont liées pour deux d'entre elles à la technique chirurgicale et pour une autre à l'infusion du produit (méningite chimique). Malgré ces incidents, les patients apprécient le bénéfice lié à la réduction de leur spasticité et ne regrettent pas la procédure « simple et réversible » proposée.

Le traitement de la spasticité diffuse est souvent insuffisant pour gérer l'ensemble des problèmes de l'enfant IMC, en particulier si aux anomalies primaires (spasticité, co-contractions, déficit…) sont associées des anomalies secondaires ou complications (rétractions, troubles de torsion…). Il s'agit donc de planifier l'ensemble du traitement : pompe à baclofène pour une spasticité diffuse, chirurgie orthopédique pour améliorer et optimiser les « moments » de forces, orthèses pour compenser le ou les déficits et « éducation motrice » accompagnant chacune de ces étapes. La période postimplantation est à gérer soigneusement avec une augmentation progressive des doses de baclofène intrathécal (en maintenant le seuil de spasticité au niveau souhaité). La rééducation doit être soutenue en l'orientant vers un renforcement très régulier des propulseurs (*ilio-psoas*, *gluteus maximus*) et des muscles qui ont été longtemps dans une position étirée (mono-articulaires du *quadriceps femoris*, *gluteus maximus*) ainsi qu'un étirement des muscles trop courts (fléchisseurs et adducteurs). La réduction de l'hypertonie permet aussi de réintroduire des orthèses de fonction (anti-talus, anti-équin) qui n'étaient plus supportées. Elles sont destinées à compenser le déficit, stabiliser l'appui et améliorer la propulsion. La maîtrise de la spasticité permet d'introduire ce travail « rééducatif » et « orthétique » qui est à la base d'une amélioration des moments de force et d'une progression fonctionnelle des patients.

Conclusion

Le baclofène intrathécal constitue donc une arme puissante pour la gestion de la spasticité diffuse de l'enfant IMC, en particulier s'il dispose d'un potentiel ambulatoire. Encore faut-il préserver ce potentiel avant la survenue des déformations orthopédiques ou d'une « rigidification » trop importante conduisant à un abandon de la locomotion. La mise en place d'une pompe à baclofène chez des enfants « à potentiel ambulatoire » doit être optimisée par une rééducation orientée et soutenue, en discutant l'introduction d'orthèses de fonction et, le moment venu, d'une chirurgie correctrice « de réglage » pour l'amélioration des moments de force.

La logique de ce traitement nous oriente actuellement vers une sélection de patients IMC plus jeunes avant l'apparition de modifications structurelles difficilement accessibles au traitement orthopédique. L'objectif est une maîtrise précoce des complications si le réglage de l'équilibre moteur est mieux géré en amont et maintenu jusqu'à la fin de la croissance.

Références

1. Ben Smaïl D, Kiefer C, Bussel B (2003) Évaluation clinique de la spasticité, Neurochirurgie, 49, n° 2-3, 190-8
2. Bussel B (2003) Spasticité : bilan et perspectives, Neurochirurgie, 49, n° 2-3, 413-6
3. Decq P (2003) Physiopathologie de la spasticité, Neurochirurgie, 49, n° 2-3, 163-84
4. Gormley ME, Krach LE, Piccini L (2001) Spasticity management in the child with spastic quadriplegia, European Journal of Neurology, 8 (suppl. 5): 127-35
5. Rodda J, Graham HK (2001) Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm, European Journal of Neurology,8 (suppl. 5): 98-108
6. Filipetti P, Kolanowski E, Barbedette B *et al.* (2003) Intrathecal baclofen therapy and cerebral palsy. Extenal programmable pump procedure in spastic diplegia, ESMAC, Marseille, France
7. Ashworth B (1964) Preliminary trial of carisprodol in multiple sclerosis. Practitionner 192: 540-2
8. Romei M, Galli M, Motta F *et al.* (2003) Use of the normalcy index for the evaluation of gait pathology, Gait and Posture 00 1-7
9. Albright AL (1996) Baclofen in the treatment of cerebral palsy, Journal of Child Neurology, vol. 11, n°2: 77-83
10. Albright AL(1992) Neurosurgical treatment of spasticity: selective posterior rhizotomy and intrathecal baclofen, Steroeotact Funct Neurosurg 58: 3-13
11. Albright AL, Barron WB, Fasick MP, Polinko P, Janosky J (1993) Continuous intrathecal baclofen infusion for spasticity of cerebral origin, JAMA, November 24, vol. 270, n° 20
12. Albright AL, Cervi A, Singletary J (1991) Intrathecal baclofen for spasticity in cerebral palsy, JAMA, vol. 265, n° 11
13. Albright AL, Shultz B (1999) Plasma baclofen levels in children receiving continuous intrathecal baclofen infusion, Journal of Child Neurology, vol. 14: 408-9

14. Armstrong RW, Steinbok P, Cochrane DD *et al.* (1997) Intrathecally administered baclofen for treatment of children with spasticity of cerebral origin, J Neurosurg, vol. 87: 409-14
15. Creedon SD, Dijkers MPJM, Hinderer SR (1997) Intrathecal baclofen for severe spasticity: a meta-analysis, International Journal of Rehabilitation and Health ; vol. 3, n°3: 171-85
16. Gerszten PC, Albright AL, Barry MJ (1997) Effect on ambulation of continuous intrathecal baclofen infusion, Pediatr Neurosurg vol. 27: 40-4
17. Gerszten PC, Albright AL, Johnstone GF (1998) Intrathecal baclofen infusion and subsequent orthopedic surgery in patients with spastic cerebral palsy, J. Neurosurg., 88: 1009-13
18. Gilmartin R, Bruce D, Storrs BB *et al.* (2000) Intrathecal baclofen for management of spastic cerebral palsy: multicenter trial, Journal of Child Neurology,. vol. 15, n°2: 71-7
19. Grabb PA, Guin-Renfroe S, Meythaler JM (1999) Midthoracic catheter tip placement for intrathecal baclofen administration in children with quadriparetic spasticity, Neurosurgery, vol. 45, n°4: 833-7
20. Krach LE (2001) Pharmacotherapy of spasticity: oral medications and intrathecal baclofen, Journal of Child Neurology, vol. 16, n° 1: 31-6
21. Murphy NA, Irwin MCN, Hoff C (2002) Intrathecal baclofen therapy in children with cerebral palsy: efficacy and complications, Arch Phys Med Rehab, vol. 83 : 1721-5
22. Narayan RK, Loubser PG, Jankovic J *et al.* (1991) Intrathecal baclofen for intractable axial dystonia, Neurology; 41: 1141-2
23. Sallerin B, Lazorthes Y (2003) Baclofène intrathécal : historique, preuves expérimentales et données pharmacocinétiques, Neurochirurgie, 49, n° 2-3, 271-5
24. Sampson FC, Hayward A, Evans G *et al.* (2002) Functional benefits and cost/benefit analysis of continuous intrathecal baclofen infusion for the management of severe spasticity, J. Neurosurg., 96: 1052-7
25. Van Schaeybroeck P, Nuttin B, Lagae L *et al.* (2000) Intrathecal baclofen for intractable cerebral spasticity: a prospective placebo-controlled, double-blind study, Neurosurgery, vol. 46, n° 3: 603-12
26. Von Koch CS, Park TS, Steinbok P *et al.* (2001) Selective posterior rhizotomy and intrathecal baclofen for the treatment of spasticity, Pediatr Neurosurg; 35: 57-65
27. Albright AL, Barry MJ, Painter MJ *et al.* (1998) Infusion of intrathecal baclofen for generalized dystonia in cerebral palsy, J Neurosurg vol. 88: 73-6
28. Butler C, Campbell S (2000) Evidence of the effects of intrathecal baclofen for spastic and dystonic cerebral palsy, Developmental Medicine & Child Neurology, 42: 634-45

Analyse posturographique d'enfants infirmes moteurs cérébraux après traitement d'un équin

S. Bourelle, J. Cottalorda, O. Vanel, M.-C. d'Anjou, C. Palayer et V. Gautheron

Résumé

Le but de notre étude est d'évaluer le contrôle de l'équilibre avant et après traitement d'un équin par une analyse posturogaphique.

Ont fait partie de cette étude 7 enfants, 4 filles et 3 garçons. L'analyse posturographique de chaque enfant a été réalisée, avant et après traitement de l'équin, sur la Balance Master® System, par trois tests de l'équilibre statique : test de répartition du poids du corps *(Weight Bearing Squat, WBS)*, test évaluant l'équilibre dans différentes conditions sensorielles *(modified Clinical Test for Sensory Interaction on Balance, mCTSIB)* et test de stabilité monopodale *(Unilateral Stance, US)*, ainsi que par 2 tests de l'équilibre dynamique : test des limites de stabilité *(Limits Of Stability, LOS)* et test des mouvements rythmiques *(Rhythmic Weight Shifts, RWS)*.

Après traitement, le test de répartition du poids du corps montre une diminution de l'asymétrie moyenne. Dans le mCTSIB, tous les enfants se sont améliorés. Dans le test d'appui monopodal, les résultats ne sont pas homogènes. Dans le test des limites de stabilité, les enfants ont presque tous montré beaucoup de difficulté à réaliser les consignes. Dans le test des balancements rythmiques, le contrôle directionnel moyen s'améliore dans toutes les directions.

La Balance Master® System offre une évaluation facile et objective du contrôle postural chez l'enfant. Nos résultats nous semblent suffisamment intéressants pour nous inciter à continuer l'évaluation de l'équilibre chez enfant IMC par la posturographie, en particulier après un traitement.

Introduction

L'évaluation des traitements chez l'enfant infirme moteur cérébral est devenu incontournable et comprend de plus en plus fréquemment un passage en laboratoire d'analyse de la marche. Cependant, avant de pouvoir marcher, un enfant doit être capable de se tenir debout et de contrôler sa posture. Ainsi, tout traitement médical ou chirurgical

corrigeant l'appareil locomoteur et entraînant une amélioration objective de certains paramètres de la marche devrait également entraîner une amélioration du contrôle de l'équilibre. Dans la littérature, il existe de nombreuses études comparant le contrôle postural de l'enfant normal à celui d'enfants infirmes moteurs cérébraux (1-3) mais très peu d'articles essayent d'évaluer, après un quelconque traitement, l'évolution du contrôle de l'équilibre. Parmi ces quelques publications, Kuczynski *et al.* (4) ont montré que l'équilibre statique d'enfants infirmes moteurs cérébraux s'améliore après trois mois de pratique d'équitation sur une selle mécanique.

L'équilibre se définit par la capacité à maintenir son centre de masse dans le polygone de sustentation, de façon à éviter les chutes et à réaliser les mouvements voulus. Il requiert la capacité de contrôler les oscillations posturales grâce au système musculo-squelettique en utilisant les informations apportées par les systèmes vestibulaire, visuel et somato-sensoriel. Les outils d'évaluation du contrôle de la posture chez l'enfant sont nombreux (5) et permettent d'analyser la contribution de chacun des systèmes au contrôle de l'équilibre. Certains font intervenir des plates-formes de forces capables de mesurer les oscillations posturales dans différentes conditions, ce qui correspond à la posturographie. La Balance Master® System est un outil d'enregistrement en temps réel des mouvements posturaux. Elle permet d'évaluer l'équilibre statique (mesure des oscillations posturales en station debout), mais également l'équilibre dynamique, par la réalisation de tests requérant la participation des patients. Elle nous permet de disposer immédiatement de mesures objectives. L'efficacité et l'utilité d'un tel outil ont déjà été démontrées chez l'adulte. Une base de données est disponible pour les adultes (âgés de 20 à 79 ans). Alors que de nombreuses études ont été menées chez l'adulte, l'utilisation de ce système a été peu exploité chez l'enfant. Seuls Cambier *et al.* (6) ont publié des données de références pour des enfants normaux âgés de 4 à 5 ans, afin de démontrer l'intérêt clinique de ce dispositif en pédiatrie. Chez l'enfant infirme moteur cérébral, seuls Liao *et al.* (7) ont commencé à faire quelques études exploitant les possibilités de la Balance Master® System. Ils ont ainsi démontré qu'il existe une corrélation entre la capacité à réaliser des mouvements de balancement rythmique, dont la vitesse et la qualité sont évaluées par la Balance Master® System, et la vitesse de marche. Il nous a donc paru intéressant d'essayer ce système dans d'autres conditions chez l'enfant infirme moteur cérébral.

L'enfant infirme moteur cérébral peut présenter de multiples déformations de l'appareil locomoteur, mais le plus fréquent est l'équin qui entraîne un défaut d'appui du talon au sol avec une marche sur la pointe des pieds. La correction médicale ou chirurgicale de l'équin permet une augmentation de la surface d'appui au sol et la pose du talon au cours de la marche. Il est permis de supposer que l'augmentation de la surface d'appui au sol permet un meilleur contrôle de l'équilibre. Le but de notre étude était donc de savoir si un traitement visant à corriger l'équin améliore l'équilibre au point de pouvoir améliorer la posturographie.

Matériel et méthodes

Patients

Sept enfants, 4 filles et 3 garçons, ont fait partie de cette étude (tableau I). Tous ces enfants présentaient une infirmité motrice cérébrale entraînant un équin fixé ou dynamique, uni ou bilatéral, qui a nécessité une prise en charge médicale ou chirurgicale, soit par plâtres d'allongement (8), soit par aponévrotomie des jumeaux (9), soit par injections de toxine botulique suivies de plâtres d'allongement (10). Tous ces enfants, scolarisés normalement pour leur âge, étaient autonomes à la marche sans aide technique et capables de se tenir debout en équilibre sans support ainsi que de comprendre toutes les instructions.

Tableau I-

	Patiente 1	*Patiente 2*	*Patient 3*	*Patient 4*	*Patiente 5*	*Patient 6*	*Patiente 7*
Âge	14 ans	6 ans	10 ans	9 ans	5 ans	12 ans	7 ans
Poids	43,6 kg	19,5 kg	28,3 kg	27,5 kg	20,5 kg	59 kg	25 kg
Taille	155 cm	113 cm	130 cm	125 cm	114 cm	169	127 cm
Antécédents	diplégie	diplégie	diplégie	diplégie	diplégie	diplégie	diplégie
Traitement	Injection bilatérale de toxine botulique et plâtres d'allongement	Plâtre d'allongement à gauche	Plâtres d'allongement	Aponévrotomie des jumeaux à droite	Plâtre d'allongement à droite	Aponévrotomie des jumeaux à droite	Aponévrotomie des jumeaux à droite

Méthodes

La première évaluation a été réalisée durant le mois qui a précédé la prise en charge médicale ou chirurgicale. La seconde évaluation a été réalisée entre 2 et 4 mois après la fin du traitement.

Examen clinique

Le degré de rétraction du triceps a été évalué par la mesure de la flexion dorsale passive de la cheville. L'arrière-pied étant maintenu sans *varus* ni *valgus*, la mesure de la flexion dorsale passive de la cheville a été réalisée après plusieurs étirements progressifs très lents, d'abord en position d'extension, puis à 90° de flexion de genou. La flexion dorsale passive maximale de la cheville, représentée par l'angle antre l'axe de la jambe et celui du pied, a été mesurée dans ces deux positions grâce à un goniomètre. La flexion dorsale est exprimée en valeur positive, zéro degré correspondant à l'angle droit. Une valeur négative de flexion dorsale de cheville signait donc un équin permanent.

Analyse posturographique

L'analyse posturographique de chaque enfant a été réalisée, avant et après traitement, sur la Balance Master® (version 7.0 de NeuroCom International) (fig.1) qui est actuellement l'un des seuls systèmes informatisés permettant l'étude en direct des mouvements du centre de gravité. La Balance Master® est une plate-forme de forces de 46 cm de côté comprenant un plateau équipé de deux capteurs pour chaque pied. La plate-forme est reliée à un ordinateur. La fréquence de transmission des données de la plate-forme de forces est de 100 Hz. L'ordinateur calcule le centre de pression de chaque pied et, en utilisant la taille du patient entrée par l'opérateur, calcule la composante verticale du centre de gravité, dont la position et les mouvements sont enregistrés en continu durant les tests. La Balance Master® admet des patients dont le poids est compris entre 18 et 136 kg et la taille entre 76 et 203 cm. Tous les enfants de l'étude entraient dans ces limites de poids et de taille.



Fig. 1 - Enfant effectuant un test d'équilibre (mCTSIB) sur la Balance Master®.

Le positionnement des pieds sur la plate-forme est très précis : la malléole médiale doit se superposer à la ligne bleue et large, tandis que le bord externe du talon doit s'aligner avec la ligne S *(small)*, M *(medium)* ou T *(tall)* selon la taille (fig. 2). Les orteils sont positionnés de manière à obtenir une position confortable. Ce placement est valable pour tous les tests, excepté le test de répartition du poids du corps où les pieds doivent être parallèles, la malléole médiale alignée avec la ligne bleue et épaisse et le centre de chaque talon placé sur la ligne M.

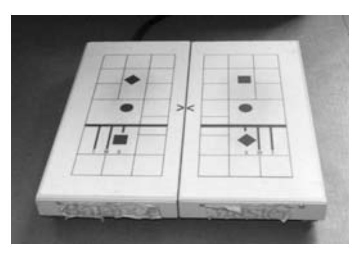


Fig. 2 - Plate-forme de la Balance Master® présentant des repères précis pour le positionnement des pieds.

L'évaluation a comporté cinq tests différents : le test de répartition du poids du corps (Weight Bearing Squat, WBS), le test évaluant l'équilibre dans différentes conditions sensorielles (modified Clinical Test for Sensory Interaction on Balance, mCTSIB), le test de stabilité monopodale (Unilateral Stance, US), le test des limites de stabilité (Limits Of Stability, LOS) et le test des mouvements rythmiques (Rhythmic Weight Shifts, RWS). Le WBS, le mCTSIB et le US sont des tests de l'équilibre statique. Le LOS et le RWS sont des tests de l'équilibre dynamique.

Présentation des cinq tests

1. WBS

Ce test permet de connaître la répartition du poids du corps entre les membres inférieurs. Les genoux sont en extension puis en flexion à 30°, 60° et 90°. La mesure est instantanée. Les positions fléchies et accroupies augmentent les contraintes sur les chevilles et les genoux et permettent de détecter ou de majorer des différences de répartition du poids du corps, qui sont indétectables en position d'extension des genoux (fig. 3). Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids du corps, ce qui permet une comparaison entre des personnes de poids différent.



Fig. 3 - Exemple d'un enfant effectuant le WBS à 90° de flexion de genou.

Chez un adulte normal, la répartition du poids se fait à égalité entre les membres inférieurs. On admet jusqu'à 5 % de différence de répartition chez l'adulte et 15 % chez la personne âgée. Il n'y actuellement pas de chiffre admis chez l'enfant.

2. mCTSIB

Ce test évalue la vitesse des oscillations du centre de gravité du patient, qui sont nécessaires pour maintenir son équilibre debout sur la plate-forme. L'absence d'oscillations représente la plus grande stabilité. Plus les oscillations sont importantes, plus le contrôle postural est anormal.

Le mCTSIB consiste à réaliser trois enregistrements de dix secondes dans quatre conditions différentes (les yeux ouverts sur un sol dur, puis sur un sol en mousse ainsi que les yeux fermés sur les deux mêmes sols). La vitesse des oscillations pour chaque essai,

exprimée en degré par seconde, est calculée d'après la taille de l'enfant qui fait partie des renseignements à fournir à l'ordinateur avant le début des tests. Pour chacune des situations, la moyenne des trois enregistrements est automatiquement calculée. Une moyenne combinée des quatre situations est également automatiquement calculée. Un schéma représente la projection moyenne du centre de gravité dans les quatre conditions.

3. US

Ce test évalue la vitesse des oscillations du centre de gravité du patient nécessaires pour maintenir son équilibre en appui monopodal sur la plate-forme. Il consiste à réaliser trois enregistrements de dix secondes chacun dans quatre situations différentes (en appui monopodal d'un côté puis de l'autre, les yeux ouverts puis les yeux fermés) (fig. 4). L'analyse donne les vitesses des oscillations, toujours en degré par seconde, pour chaque enregistrement et dans chaque situation. Une moyenne des vitesses est automatiquement calculée dans chaque situation. Des schémas montrent la trajectoire du centre de gravité pour chaque enregistrement et dans chaque condition. La différence entre les deux côtés, les yeux ouverts puis fermés, est automatiquement calculée et représentée sous forme d'une barre d'histogramme horizontale déviée du côté de la meilleure stabilité.

Lorsque les données ne sont pas analysables, l'ordinateur spécifie l'absence de score ou la chute.



Fig. 4 - Enfant effectuant le test d'appui monopodal à gauche.

4. LOS

Les limites de stabilité représentent la région de l'espace dans laquelle une personne est capable de mouvoir son centre de gravité sans modifier ses appuis. Si le centre de gravité dépasse ces limites, alors il est nécessaire de faire un pas ou de trouver un appui de façon à rétablir l'équilibre et éviter la chute.

Le LOS est un test d'équilibre dynamique qui évalue la capacité du patient à mouvoir volontairement son centre de gravité dans différentes directions dans les limites de stabilité théoriques et de se tenir brièvement immobile dans différentes positions. Pour ce test, la localisation du centre de gravité du patient est représentée sur l'écran par un curseur permettant un rétrocontrôle visuel. Le patient contrôle les mouvements du curseur représentant son centre de gravité par les mouvements de son corps. En péri-

phérie d'une cible centrale indiquant la localisation théorique du centre de gravité d'une personne normale se tenant debout, sont représentées huit cibles disposées tous les 45° (en avant, en avant et à droite, à droite, etc.) (fig. 5). Les cibles périphériques sont positionnées afin de couvrir 100 % de limites de stabilité. Au départ, le curseur doit être superposé à la cible centrale. Quand un cercle bleu apparaît dans une des cibles périphériques, le patient doit faire bouger le curseur aussi vite et aussi précisément que possible pour atteindre la cible concernée et y demeurer tout en restant en équilibre, c'est-à-dire sans décoller les pieds de la plate-forme. Chaque essai pour rejoindre une cible périphérique dure huit secondes. Il est nécessaire de s'entraîner afin de comprendre le mécanisme de contrôle du curseur par les mouvements du centre de gravité. La position et les mouvements du centre de gravité sont enregistrés en continu.

À chaque essai pour atteindre les huit cibles, les paramètres mesurés sont le temps de réaction, la vitesse du mouvement, le point d'arrivée initial du mouvement (*Endpoint Excursion* ou EPE), le point d'arrivée final du mouvement (*Maximum Excursion* ou MXE) et le contrôle directionnel des mouvements.

Le temps de réaction correspond à la durée exprimée en secondes entre le signal lançant le mouvement (apparition d'un cercle à l'intérieur d'une cible périphérique) et le début de ce mouvement. L'ordinateur définit le début de l'intention du patient à bouger vers la cible (distincts des mouvements aléatoires en attendant le signal) comme le point dans le temps où le centre de gravité bouge en dehors de la surface occupée pendant les deux secondes précédant le signal.

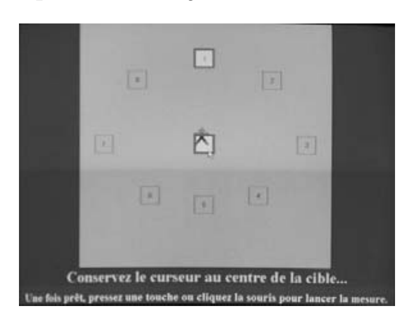


Fig. 5 - Écran au cours du LOS montrant la position du centre de gravité (petit personnage), qui est contrôlée par le patient, ainsi que les huit cibles périphériques à atteindre.

EPE correspond à la distance, exprimée en pourcentage des limites de stabilité, représentant la tentative initiale pour atteindre une cible périphérique. Le mouvement initial pour rejoindre la cible cesse à partir d'EPE (l'ordinateur détecte que la vitesse est proche de zéro ou bien que le centre de gravité s'éloigne de la cible). Commencent alors les mouvements de correction pour rejoindre la cible. MXE, exprimé également en pourcentage des limites de stabilité, représente la plus grande distance parcourue par le centre de gravité au cours de l'essai. MXE peut être supérieur à EXE si la première tentative pour atteindre la cible était trop courte. MXE représente donc les mouvements de correction pour atteindre la cible. Quant à EPE, il représente les capacités d'anticiper (*feedforward*) le mouvement et MXE les capacités de correction (f*eedback*) du mouvement.

La vitesse des mouvements est la vitesse moyenne de mouvement du centre de gravité, exprimée en degrés par seconde, entre 5 % et 95 % d'EPE.

Le contrôle directionnel, exprimé en pourcentage, représente la proportion de mouvement dirigé exclusivement vers la cible au cours du déplacement du centre de gravité vers cette cible. Un patient ayant une trajectoire rectiligne de son centre de gravité pour atteindre une cible aurait un contrôle directionnel de 100 %.

L'ordinateur donne les résultats sous forme d'un tableau, d'un schéma et de barres d'histogramme.

5. RWS

Ce test évalue la qualité d'exécution des mouvements rythmiques de balancement du centre de gravité, à la fois antéro-postérieurs et latéraux volontaires, mais imposés à trois vitesses différentes (3, 2, et 1 seconde de transition). Le centre de gravité du patient est représenté sur l'écran par un curseur permettant un rétrocontrôle visuel. Le patient doit se balancer entre deux lignes rouges visualisées sur l'écran en suivant les mouvements d'un soleil bleu qui se déplace entre les lignes rouges à chacune des trois vitesses. Le but est de parvenir à suivre la trajectoire et la vitesse de ce soleil.

Les paramètres mesurés sont la vitesse de mouvement sur l'axe exprimée en degrés par seconde et le contrôle directionnel dans les deux types de déplacements et aux trois vitesses.

Des schémas indiquent la trajectoire du centre de gravité pour chacun des six essais.

Résultats

Tous les résultats de l'examen clinique avant et après traitement sont résumés dans le tableau II.

Tableau II -

				Patiente 1	Patiente 2	Patient 3	Patient 4	Patiente 5	Patient 6	Patiente 7
TRAITEMENT				Injection de toxine botulique et plâtres d'allongement	Plâtres d'allongement à gauche	Plâtres d'allongement bilatéraux	Aponévrotomie des jumeaux à droite	Plâtres d'allongement à droite	Aponévrotomie des jumeaux à droite	Aponévrotomie des jumeaux à droite
Avant traitement	Amplitudes articulaires	Flexion dorsale de la cheville droite	Genou en extension	0°	5°	0°	-35°	-25°	-20°	5°
			Genou en flexion	10°	20°	10°	-30°	-10°	-16°	10°
		Flexion dorsale de la cheville gauche	Genou en extension	0°	0°	0°	0°	0°	0°	10°
			Genou en flexion	10°	15°	5°	0°	10°	4°	25°
Après traitement	Amplitudes articulaires	Flexion dorsale de la cheville droite	Genou en extension	5°	15°	20°	10°	5°	0°	12°
			Genou en flexion	8°	30°	28°	20°	10°	5°	18°
		Flexion dorsale de la cheville gauche	Genou en extension	0°	15°	12°	10°	5°	0°	25°
			Genou en flexion	6°	25°	22°	20°	10°	10°	35°

Notre étude posturographique comprend un nombre trop restreint de patients pour en tirer des conclusions statistiquement significatives. Seules les tendances sont donc mentionnées.

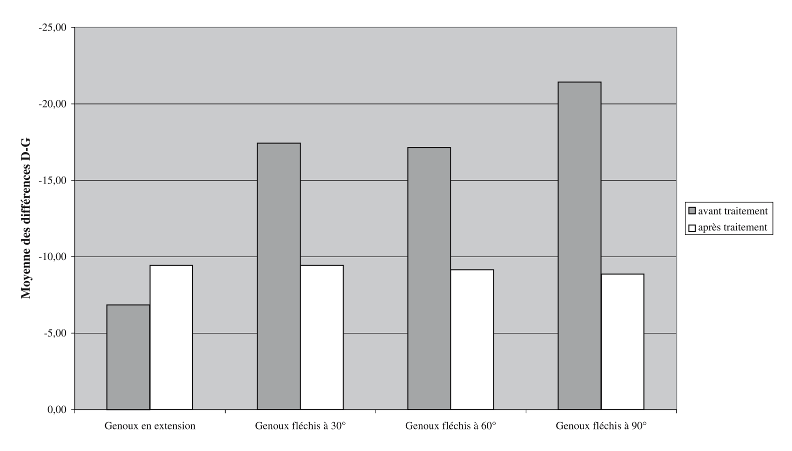
WBS

Les résultats numériques du WBS sont résumés dans le tableau III. On constate pour deux enfants (le patient 4 et la patiente 5), qui ont eu un traitement unilatéral, des différences majeures de répartition du poids du corps aux dépens du côté traité, qui s'améliorent après traitement. Ainsi, pour le patient 4, à 90° de flexion des genoux, la différence de répartition du poids du corps entre les deux côtés passe de 40 % avant traitement à 22 % après traitement. Pour la patiente 5, cette différence passe de 60 % avant traitement à 18 % après traitement. Le calcul de la moyenne des valeurs absolues des répartitions du poids du corps pour l'ensemble des patients montre une tendance à l'amélioration de l'asymétrie entre les deux côtés (graphique I).

Tableau III et graphique I

Weight Bearing Squat % du poids du corps		patiente 1		patiente 2		patient 3		patient 4		patiente 5		patient 6		patiente 7	
		Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
Genoux en extension	G	47	50	56	58	51	60	56	42	60	60	48	58	56	55
	D	53	50	44	42	49	40	44	58	40	40	52	42	44	45
différence D-G		6	0	-12	-16	-2	-20	-12	16	-20	-20	4	-16	-12	-10
Genoux fléchis à 30°	G	43	47	58	61	61	53	63	48	76	64	42	52	68	58
	D	57	53	42	39	39	47	37	52	24	36	58	48	32	42
différence D-G		14	6	-16	-22	-22	-6	-26	4	-52	-28	16	-4	-36	-16
Genoux fléchis à 60°	G	42	43	51	56	53	54	71	61	82	64	39	45	72	59
	D	58	57	49	44	47	46	29	39	18	36	61	55	28	41
différence D-G		16	14	-2	-12	-6	-8	-42	-22	-64	-28	22	10	-44	-18
Genou fléchis à 90°	G	57	49	45	50	49	53	70	61	80	59	50	51	74	58
	D	43	51	55	50	51	47	30	39	20	41	50	49	26	42
différence D-G		-14	2	10	0	2	-6	-40	-22	-60	-18	0	-2	-48	-16





mCTSIB

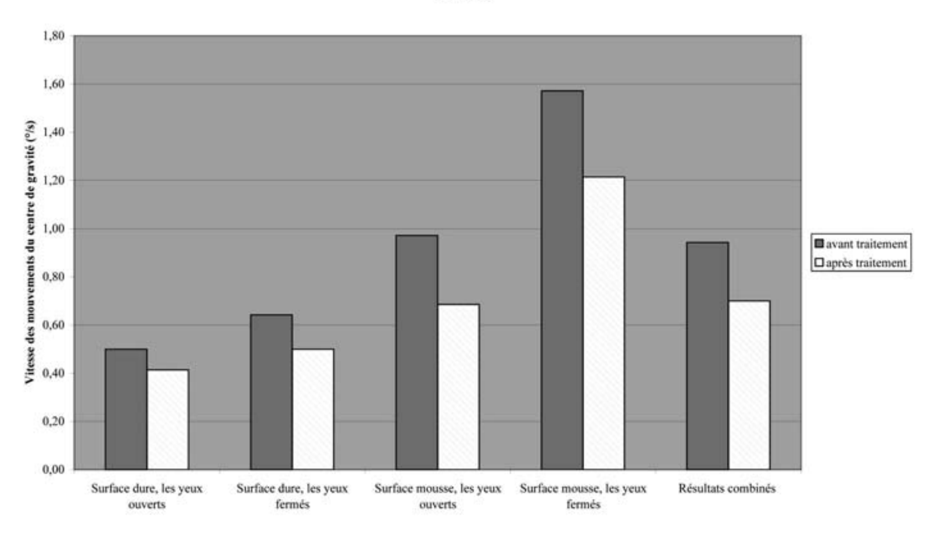
Les résultats du mCTSIB sont résumés dans le tableau IV et montrent une amélioration pour tous les enfants en ce qui concerne les résultats combinés. Si l'on distingue les diverses conditions de mesure, l'amélioration semble être la plus évidente lorsque les afférences proprioceptives et visuelles sont perturbées ou supprimées (yeux fermés sur surface mousse).

La moyenne des vitesses d'oscillation avant et après traitement montre une amélioration pour l'ensemble des patients (graphique II).

Tableau IV et graphique II

mCTSIB Vitesse des mouvements du centre de gravité (∞/s)	**patiente 1**		**patiente 2**		**patient 3**		**patient 4**		**patiente 5**		**patient 6**		**patiente 7**	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Surface dure, les yeux ouverts	0,2	0,2	0,7	0,8	0,6	0,4	0,9	0,6	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,1
Surface dure, les yeux fermés	0,2	0,2	0,9	0,9	0,6	0,5	1,2	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2
Surface mousse , les yeux ouverts	0,4	0,4	2,2	1,2	0,8	0,4	0,9	1	1,1	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6
Surface mousse, les yeux fermés	1,4	1,2	1,8	1,5	1,4	1	2	1,5	1,7	1,2	1,4	1,5	1,3	0,6
Résultats combinés	**0,6**	**0,5**	**1,4**	**1,1**	**0,9**	**0,6**	**1,3**	**0,9**	**0,9**	**0,7**	**0,8**	**0,7**	**0,7**	**0,4**





US

Les résultats du US sont résumés dans le tableau V. Pour les deux enfants qui ont bénéficié d'un traitement bilatéral (patiente 1 et patient 3), les résultats ne sont pas homogènes entre les deux côtés. Pour la patiente 2 qui a reçu un traitement du côté gauche, la vitesse d'oscillation diminue du côté traité les yeux ouverts alors qu'elle augmente du côté non traité. Pour les 3 autres patients qui ont reçu un traitement à droite, soit les

résultats sont très peu modifiés, soit on constate, pour la patiente 7 notamment, une diminution très nette de la vitesse d'oscillation du côté traité (aponévrotomie des jumeaux) les yeux ouverts et les yeux fermés. Chez le patient 4, qui a 9 ans, l'influence de la fermeture des yeux n'apparaît pas.

Tableau V -

US Vitesse des mouvements du centre de gravité (°/s)		Patiente 1		Patiente 2		Patient 3		Patient 4		Patiente 5		Patient 6		Patiente 7	
		Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
Les yeux ouverts	G	0,6	0,8	11,6	9,6	0,8	0,6	3,7	3,3	0,9	1	1,1	1,1	1	0,9
	D	0,7	0,7	4,8	9,3	1,1	0,7	11,9	11,9	9	8,1	1,1	1,4	7,8	2,3
	% différence	8	7	41	2	16	8	53	57	82	78	0	12	77	44
		(G>D)	(D>G)	(D>G)	(D>G)	(G>D)	(G>D)	(G>D)	(G>D)	(G>D)	(G>D)		(G>D)	(G>D)	(G>D)
Les yeux fermés	G	1,5	2,1	11,9	11,7	2	4,1	3,5	3,4	2,5	5,5	3,6	2,2	3,6	2,3
	D	1,9	1,8	9,6	8,7	3	2,9	11,9	11,9	11,9	11,5	2,1	1,7	11	3,3
	% différence	12	8	11	15	20	17	55	56	65	35	26	13	51	18
		(G>D)	(D>G)	(D>G)	(D>G)	(G>D)	(D>G)	(G>D)	(G>D)	(G>D)	(G>D)	(D>G)	(D>G)	(G>D)	(G>D)

LOS

Les résultats sont résumés dans le tableau VI. Par souci de simplification, les résultats des cibles rapprochées ont été moyennés : par exemple, la direction « avant » décrit les résultats obtenus pour le cibles « avant », « avant droite » et « avant gauche ». Trois des enfants réalisent des tests dont les résultats ne sont pas enregistrables par l'ordinateur et apparaissent comme « NS » (non significatif) dans le tableau. Pour les autres enfants, quelques résultats apparaissent également comme « NS ». Toutefois, on peut remarquer, ponctuellement et chez certains enfants, une amélioration très nette après traitement. C'est le cas par exemple pour les enfants 1, 6 et 7 qui, après traitement, atteignent un point beaucoup plus proche de la cible (*Endpoint Excursion* plus proche de 100 %) lors de l'essai initial pour rejoindre cette cible. Pour ces 3 patients, le résultat global du « *Endpoint Excursion* » s'améliore nettement après traitement.

Tableau VI -

	Temps de réaction (s)					Vitesse de mouvement (°/s)				
avant traitement	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**
patiente 1	NS	0,79	0,85	0,50	0,71	NS	1,90	5,70	6,60	4,70
patiente 2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 3	0,76	0,86	0,93	0,69	0,77	9,13	6,50	9,07	7,40	7,59
patient 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patiente 5	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 6	0,73	0,82	0,58	0,80	0,73	5,00	4,10	7,00	7,90	6,00
patiente 7	0,89	NS	NS	0,78	0,83	7,20	1,50	4,50	6,80	5,00
Moyenne	**0,79**	**0,82**	**0,79**	**0,69**	**0,76**	**7,11**	**3,50**	**6,57**	**7,18**	**5,82**
après traitement	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**
patiente 1	0,85	0,63	0,85	0,55	0,72	5,20	1,80	2,60	6,10	3,90
patiente 2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 3	NS	0,95	NS	0,58	0,76	NS	3,90	NS	11,50	7,70
patient 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patiente 5	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 6	0,52	0,33	0,49	0,47	0,45	10,80	6,10	10,20	6,60	8,40
patiente 7	1,02	1,38	0,98	0,86	1,06	4,90	3,30	4,40	6,80	4,90
Moyenne	**0,80**	**0,82**	**0,77**	**0,62**	**0,75**	**6,97**	**3,78**	**5,73**	**7,75**	**6,23**

Tableau VI - (suite)

	Endpoint excursion (%)				
avant traitement	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**
patiente 1	NS	27,00	63,00	89,00	60,00
patiente 2	NS	NS	NS	NS	NS
patient 3	82,00	83,00	80,33	96,33	84,75
patient 4	NS	NS	NS	NS	NS
patiente 5	NS	NS	NS	NS	NS
patient 6	76,00	47,00	96,00	83,00	76,00
patiente 7	95,00	18,00	27,00	86,00	57,00
Moyenne	**84,33**	**43,75**	**66,58**	**88,58**	**69,44**
après traitement	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**
patiente 1	105,00	40,00	79,00	89,00	78,00
patiente 2	NS	NS	NS	NS	NS
patient 3	NS	63,00	NS	131,00	97,00
patient 4	NS	NS	NS	NS	NS
patiente 5	NS	NS	NS	NS	NS
patient 6	95,00	72,00	80,00	93,00	85,00
patiente 7	85,00	62,00	87,00	100,00	84,00
Moyenne	**95,00**	**59,25**	**82,00**	**103,25**	**86,00**

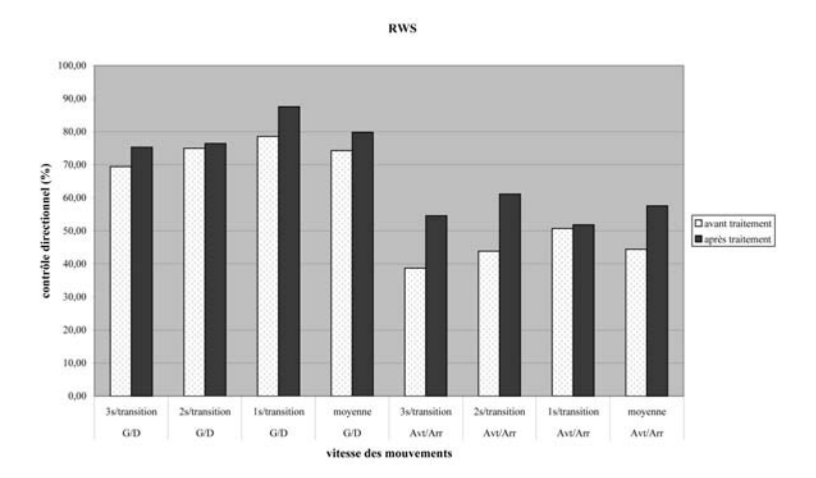
	Maximum excursion (%)					Contrôle directionnel (%)				
avant traitement	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**
patiente 1	NS	50,00	99,00	112,00	87,00	NS	60,00	76,00	81,00	72,00
patiente 2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 3	106,00	91,00	98,33	103,33	100,38	83,67	49,33	64,00	84,00	69,50
patient 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patiente 5	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 6	101,00	69,00	111,00	109,00	98,00	88,00	71,00	83,00	85,00	82,00
patiente 7	114,00	25,00	37,00	102,00	70,00	78,00	NS	NS	70,00	74,00
Moyenne	**107,00**	**58,75**	**86,33**	**106,58**	**88,84**	**83,22**	**60,11**	**74,33**	**80,00**	**74,38**
après traitement	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**	**avant**	**arrière**	**droite**	**gauche**	**global**
patiente 1	110,00	56,00	103,00	98,00	92,00	90,00	59,00	78,00	84,00	78,00
patiente 2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 3	NS	66,00	NS	131,00	99,00	NS	36,00	NS	84,00	60,00
patient 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patiente 5	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
patient 6	119,00	83,00	89,00	99,00	98,00	83,00	75,00	65,00	88,00	78,00
patiente 7	94,00	63,00	102,00	109,00	92,00	87,00	57,00	69,00	79,00	73,00
Moyenne	**107,67**	**67,00**	**98,00**	**109,25**	**95,25**	**86,67**	**56,75**	**70,67**	**83,75**	**72,25**

RWS

Le contrôle directionnel semble être la valeur la plus intéressante. Sur le plan individuel, les résultats sont très disparates selon les enfants (tableau VII). Par contre, lorsque l'analyse est réalisée sur l'ensemble des patients, le contrôle directionnel s'améliore dans toutes les directions et à toutes les vitesses (graphique III).

Tableau VII et graphique III -

Rhythmic Weight Shift			patiente 1		patiente 2		patient 3		patient 4		patiente 5		patient 6		patiente 7	
			Avant	**après**	**Avant**	**après**	**Avant**	**après**	**Avant**	**après**	**Avant**	**après**	**Avant**	**après**	**Avant**	**après**
Gauche/Droite	**Contrôle directionnel (%)**	3s/transition	76	76	72	65	75	79	49	63	68	80	68	84	78	80
		2s/transition	84	78	78	65	85	73	55	68	61	81	85	87	77	83
		1s/transition	89	89	73	83	85	92	74	90	83	84	85	89	61	86
		moyenne	*83*	*81*	*74*	*71*	*82*	*81*	*59*	*74*	*71*	*82*	*79*	*87*	*72*	*83*
Avant/ Arrière	**Contrôle directionnel (%)**	3s/transition	66	74	0	0	69	74	31	65	36	19	63	80	6	70
		2s/transition	72	74	0	0	69	80	29	64	37	56	74	79	26	75
		1s/transition	73	78	33	23	85	77	10	30	22	32	90	66	42	57
		moyenne	*70*	*87*	*11*	*8*	*74*	*77*	*23*	*53*	*32*	*36*	*76*	*75*	*25*	*67*



Discussion

La revue de la littérature montre qu'il existe actuellement très peu d'études réalisées chez l'enfant sur la Balance Master® System. Cet outil, accessible à des enfants handicapés, nous paraît pourtant simple d'utilisation et d'interprétation.

L'analyse de l'asymétrie de répartition du poids du corps (WBS) nous paraît d'autant plus intéressante qu'elle est réalisée chez des enfants ayant bénéficié d'un traitement unilatéral. En effet, après traitement, on observe de façon majeure un rééquilibrage de la répartition du poids du corps, objectivé par le WBS, pour deux des enfants ayant bénéficié d'un traitement unilatéral. Le but de notre étude n'était pas de comparer des traitements entre eux. Toutefois, l'un de ces deux enfants n'a eu que des plâtres d'allongement, on peut donc démontrer objectivement une amélioration même en cas de traitement non invasif.

Le mCTSIB qui analyse les mouvements d'oscillations dans différentes conditions sensorielles montre une amélioration pour tous les enfants en ce qui concerne les résultats combinés et pour quasiment tous les enfants dans chaque condition. L'analyse des oscillations du centre de gravité est le principal test de l'équilibre statique. Les oscillations posturales nécessaires au maintien de l'équilibre en station debout sont difficilement analysables cliniquement car, chez un individu normal, leur amplitude, leur fréquence et leurs directions ne sont pas mesurables à l'œil nu. Ces oscillations posturales ont été mises en évidence par le test de Romberg (11) qui est positif lorsqu'un patient est capable de tenir debout les pieds joints et les yeux ouverts mais oscille très fortement ou tombe les yeux fermés. Historiquement, le test avait été décrit pour l'ataxie tabétique dans laquelle les lésions des cordons postérieurs de la moelle entraîne une perte du contrôle somesthésique de la position par absence de proprioception. Pour maintenir l'équilibre, les informations du système somesthésique, visuel et vestibulaire sont nécessaires. Lorsque l'un de ces systèmes est perturbé, le contrôle postural l'est aussi. Cependant, l'un des systèmes peut pallier la déficience d'un des deux autres. Par exemple, en cas de fermeture des yeux, il est habituel de constater une augmentation des oscillations posturales mais sans chute lorsque les deux autres systèmes sont compétents.

En cas de test de Romberg positif, le système proprioceptif est altéré et lorsque les informations visuelles sont supprimées, le système vestibulaire ne suffit plus au contrôle postural. Dans l'infirmité motrice cérébrale, le système musculo-squelettique est perturbé et, s'il y a défaut d'appui au sol comme dans le cas d'un équin par exemple, on peut présumer qu'il existe également un trouble de la proprioception. Lorsque l'on corrige un équin, on peut supposer que l'augmentation de la surface d'appui au sol conduit à une augmentation des informations proprioceptives et à une meilleure utilisation du système musculo-squelettique. Il n'est donc pas surprenant de constater une diminution des oscillations posturales après traitement. Ces suppositions semblent renforcées par le fait que les plus grandes diminutions des vitesses d'oscillations (en moyenne) sont retrouvées lorsque le test est fait sur surface mousse les yeux fermés. Ainsi, en cas de suppression des afférences visuelles, les enfants semblent avoir plus de capacité à « gérer » une surface déséquilibrante et instable sous les pieds.

Le test d'appui monopodal est un test usuel du contrôle postural (12). Nos résultats sont relativement décevants car ils ne montrent pas une grande différence entre les côtés, lorsque le traitement a été unilatéral, ni une grande homogénéité, lorsque le traitement a été bilatéral. Seuls les résultats obtenus chez deux enfants montrent une amélioration du côté traité. L'un d'eux a bénéficié de plâtres d'allongement à gauche et sa vitesse d'oscillation diminue à gauche mais avec une dégradation à droite. L'autre a bénéficié d'une aponévrotomie des jumeaux à droite et sa vitesse d'oscillation diminue de façon importante à droite les yeux ouverts et fermés, tout en diminuant de façon moins importante à gauche. Ces résultats nous paraissent intéressants car le traitement d'un côté semble avoir également un effet sur l'autre. Nous ignorons dans quelle mesure le fait d'avoir immobilisé un côté exerce un effet d'entraînement ou bien de fatigue sur l'autre côté. Ce point reste encore à explorer.

Le LOS nous a permis de constater chez ces enfants, malgré leur handicap léger, une difficulté très nette à l'initiation précise du mouvement qui est représentée par des temps de réaction non significatifs. Cela est tout à fait particulier à ces enfants car, dans une étude réalisée sur l'enfant sain âgé de 5 à 11 ans (13), tous les enfants avaient des résultats mesurables, quel que soit leur âge. Les enfants de l'étude étaient tous scolarisées dans des classes classiques et avaient des capacités de compréhension normales. Même lors de la deuxième séance de test (après traitement), il semble que le facteur apprentissage ne soit pas intervenu, car l'on retrouve des difficultés quasi identiques à l'initiation du mouvement. Le contrôle postural peut se faire par anticipation, par rétrocontrôle ou bien par une combinaison des deux. L'EPE représente dans ce test la capacité d'anticiper le mouvement nécessaire pour atteindre une des cibles périphériques et le MXE, la capacité à effectuer des mouvements de correction lorsque la cible n'a pas été atteinte au premier essai. Après traitement, ces capacités semblent améliorées pour certains enfants. En effet, l'adolescente qui a bénéficié d'injections de toxine botulique montre une meilleure capacité à atteindre les cibles, surtout avant, ce qui ne paraît pas surprenant lorsque la flexion dorsale de cheville est facilitée par un traitement. De même, l'EPE et le MXE s'améliorent de façon très importante pour les cibles droites pour la patiente qui a bénéficié d'une aponévrotomie des jumeaux à droite. Il faut d'ailleurs noter que les résultats pour tous les tests de cette enfant vont dans le même sens.

Le RWS est un test de l'équilibre dynamique qui, à ce titre, nous intéresse car il peut faire le lien avec d'autres capacités motrices. C'est ce qui a été fait par Liao *et al.* (7), qui ont établi, chez l'enfant infirme moteur cérébral, une corrélation entre la capacité à réaliser des mouvements de balancement rythmiques latéraux à vitesse rapide (transition d'une seconde) et la vitesse de marche. Dans un second travail (12), ces auteurs avaient émis l'hypothèse que la vitesse de balancement d'une seconde par transition est similaire au cycle de marche normal de 0,8 à 1,1 seconde qui correspond à un mouvement automatique, ce qui pourrait être une explication de la corrélation observée. Dans notre étude, il faut remarquer que, en moyenne, les performances dans le contrôle directionnel sont meilleures à la vitesse d'une seconde par transition, que ce soit dans les mouvements latéraux ou dans les mouvements antéro-postérieurs. De plus, le contrôle directionnel est meilleur dans les mouvements latéraux par rapport aux mouvements antéro-postérieurs et à toutes les vitesses. Ces deux constations corroborent les hypothèses de Liao *et al.* (12). Après traitement, le contrôle directionnel moyen s'améliore dans tous les cas. Cependant, les améliorations les plus importantes sont observées dans les mouvements antéro-postérieurs et aux vitesses les plus faibles, ce qui peut s'expliquer par l'amélioration de la flexion dorsale de cheville conséquence des traitements. Comme les vitesses les plus faibles sont les moins « naturelles », la capacité à exécuter des mouvements volontaires pourrait être potentialisée par une amélioration du système musculo-squelettique. À vitesse rapide, la qualité des mouvements antéro-postérieurs évolue peu après traitement. Par contre, il semble que ce soit à cette vitesse, pour les mouvements de balancement latéraux, que l'effet des traitements est le plus visible avec une amélioration plus importante que pour les deux autres vitesses. Cette constatation va également dans le sens des hypothèses de Liao *et al.* (12).

Conclusion

Cette analyse posturographique d'enfants IMC nous a permis d'évaluer l'équilibre de façon objective après traitement d'un équin. Les résultats que nous avons observés ne sont que des tendances mais nous semblent suffisamment concluants pour nous encourager à poursuivre l'étude de l'équilibre chez l'enfant IMC, en particulier pour l'évaluation d'un traitement.

La Balance Master® nous est apparue comme un outil d'évaluation simple, rapide, ludique et donc adapté à l'enfant. L'intégration de certains tests dans le programme de rééducation des enfants IMC, en particulier le RWS, pourrait être envisagée pour améliorer les performances de marche.

Références

1. Ferdjallah M, Harris GF, Smith P *et al.* (2002) Analysis of postural control synergies during quiet standing in healthy children and children with cerebral palsy. Clin Biomech (Bristol, Avon) 17(3):2 03-10

2. Gunsolus P, Welsh C, Houser C (1975) Equilibrium reactions in the feet of children with spastic cerebral palsy and of normal children. Dev Med Child Neurol 17(5):580-91
3. Rose J, Wolff DR, Jones VK *et al.* (2002) Postural balance in children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 44(1): 58-63
4. Kuczynski M, Slonka K (1999) Influence of artificial saddle riding on postural stability in children with cerebral palsy. Gait Posture 10(2): 154-60
5. Westcott SL, Lowes LP, Richardson PK (1997) Évaluation of postural stability in children: current theories and assessment tools. Phys Ther. 77(6): 629-45
6. Cambier D, Cools A, Danneels L *et al.* (2001) Reference data for 4- and 5-year-old-children on the Balance Master: values and clinical feasibility. Eur J Pediatr 160(5): 317
7. Liao HF, Jeng SF, Lai JS *et al.* (1997) The relation between standing balance and walking function in children with spastic diplegic cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 39(2): 106-12
8. Cottalorda J, Gautheron V, Metton G *et al.* (2000) Toe-walking in children younger than six years with cerebral palsy: the contribution of serial corrective casts. J Bone Joint Surg [Br] 82(4): 541-4
9. Olney BW, Williams PF, Menelaus MB (1988) Treatment of spastic equinus by aponeurosis lengthening. J Pediatr Orthop 8(4) :422-5
10. Corry IS, Cosgrove AP, Duffy CM *et al.* (1998) Botulinum toxin A compared with stretching casts in the treatment of spastic equinus: a randomised prospective trial. J Pediatr Orthop 18(3): 304-11
11. Lanska DJ (2002) The Romberg sign and early instruments for measuring postural sway. Semin Neurol. 22(4): 409-18
12. Liao HF, Mao PJ, Hwang AW (2001) Test-retest reliability of balance tests in children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 43(3): 180-6
13. Bourelle S, Cottalorda J, Mollier J *et al.* (2004) Balance tests in normal children. European Research and Educational Meeting in Paediatric Orthopaedics, Marseille, 13-16 octobre

Le traitement neurochirurgical de la spasticité invalidante des membres inférieurs chez l'enfant

P. Mertens, I. Hodgkinson, C. Bérard et M. Sindou

« La spasticité est plus facile à reconnaître qu'à caractériser, et peut être encore plus difficile à traiter avec succès » (1).

Alors que la spasticité peut constituer un élément positif de compensation de la perte de la force motrice, en excès elle peut devenir invalidante et conduire à des pertes fonctionnelles supplémentaires. Quand elle n'est plus contrôlable par les thérapies physiques et médicamenteuses, la spasticité peut, dans certaines situations, être traitée par des techniques dites de neurochirurgie fonctionnelle.

Les indications neurochirurgicales à visée antispastique chez l'enfant, ainsi que chez l'adulte, ne s'envisagent que dans le cadre d'une équipe d'évaluation et de traitement véritablement multidisciplinaire. Il faut souligner que l'analyse des troubles toniques et moteurs et de leurs conséquences fonctionnelles est tout particulièrement complexe chez les enfants, en raison notamment de leur polymorphisme s'exerçant sur un organisme en croissance.

Nous décrirons dans ce chapitre les différentes techniques neurochirurgicales actuellement disponibles et leurs indications chez l'enfant.

L'infusion intrathécale de baclofen

Pour surmonter l'obstacle de la faible diffusion du baclofen, puissant myorelaxant d'action centrale, à travers la barrière hémato-nerveuse, Penn et Kroin (2) ont introduit dans les années 80 la possibilité d'utiliser une infusion chronique intrathécale de baclofen à l'aide d'une pompe implantable. L'efficacité de cette méthode est liée à la présence d'une forte concentration de récepteur GABA-B dans la corne dorsale spinale, constituant le site d'action du baclofen. L'infusion directe intrathécale permet d'augmenter très significativement l'efficacité myorelaxante du baclofen à moindres doses et en évitant les effets secondaires périphériques liés à la prise orale. L'injection se fait par l'intermédiaire d'une pompe implantée en sous-cutané au niveau abdominal, éventuellement sous anesthésie locale, et comportant un réservoir contenant la drogue, accessible de manière percutanée pour sa vidange et son remplissage. Les pompes les plus sophistiquées

actuellement disponibles ont un débit programmable par voie externe et nous semblent les plus appropriées pour l'utilisation dans le cadre du traitement de la spasticité invalidante. Cependant, ces pompes restent d'un volume important, ce qui limite les possibilités de leurs implantation chez les enfants de petits poids.

La méthode comporte une première phase de tests d'injection intrathécal de baclofen, afin de vérifier, non pas tant l'efficacité du produit qui est constamment remarquable sur le tonus musculaire, mais la possibilité de définir une dose journalière permettant de supprimer l'excès de spasticité tout en gardant un tonus musculaire utile. Cette notion est particulièrement importante lors d'un traitement visant à améliorer les possibilités fonctionnelles, notamment la marche (3, 4).

Ainsi, certains auteurs ont rapporté l'intérêt de cette méthode d'infusion intrathécale lombaire pour traiter des spasticités d'origine encéphalique, notamment dans le cadre de l'infirmité motrice d'origine cérébrale (5).

Le risque le plus important lié à l'administration intrathécale de baclofen est le surdosage qui conduit à un coma progressif et transitoire, nécessitant un traitement symptomatique jusqu'à élimination du produit, en l'absence actuelle d'une véritable molécule antagoniste. Ainsi, cette technique demande une application rigoureuse par des équipes spécialisées. Les complications les plus habituelles sont en fait de type infectieux et mécanique par dysfonctionnement du cathéter (migration, occlusion...), ce qui nécessite une simple révision du système. L'avantage de cette méthode est le caractère modulable (en cas d'utilisation de pompe programmable) et réversible de ses effets. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que cette technique nécessite une équipe entraînée, capable d'assurer les remplissages itératifs du réservoir (tous les deux à six mois) et de suivre régulièrement cliniquement cette population d'enfants sur un très long terme.

Les techniques neuro-ablatives

Quand la spasticité invalidante ne peut pas être contrôlée par l'une des méthodes conservatives décrites précédemment, des techniques d'interruption peuvent être envisagées. Ainsi, certaines techniques chirurgicales ont pour but d'interrompre, sur le versant afférent ou efférent, le réflexe myotatique d'étirement, ainsi que les réflexes polysynaptiques hyperactifs en cas de spasticité. Ces techniques doivent être réalisées de telle manière que l'hypertonie spastique excessive soit réduite sans supprimer le tonus musculaire utile ni diminuer les possibilités motrices et les fonctions sensitives résiduelles. Ainsi, ces techniques neuro-ablatives doivent-elles être aussi sélectives que possible. De telles lésions dites « hypersélectives » peuvent être réalisées au niveau du nerf périphérique, des racines spinales dorsales, ou de la zone d'entrée de la racine dorsale dans la moelle spinale.

Les neurotomies sélectives périphériques

Les neurotomies sélectives périphériques ont été introduites dans le traitement des déformations spastiques du pied par Stoffel en 1913. Dans les années 70, l'école montpelliéraine a développé une méthode plus sélective, en utilisant les possibilités des techniques microchirurgicales et de la stimulation électrique bipolaire peropératoire pour identifier précisément les fonctions sensitives ou motrices des groupes fasciculaires composant les nerfs périphériques. Ce geste de neurotomie sélective interrompt de façon partielle les fibres motrices destinées aux muscles spastiques choisis et les fibres proprioceptives en provenant. Le geste chirurgical ne concerne que la moitié jusqu'à 4/5e au maximum des fibres, suivant un programme établi par l'évaluation préopératoire et sur l'observation peropératoire des réponses musculaires aux stimulations. L'objectif est de supprimer la spasticité en excès du muscle ciblé sans affaiblir de manière excessive la force musculaire, ni créer d'amyotrophie exagérée.

Ainsi, les neurotomies sélectives sont capables non seulement de réduire les déformations spastiques mais aussi d'améliorer dans certains cas la fonction motrice en rééquilibrant la balance tonique d'une articulation, en diminuant l'influence de la musculature antagoniste spastique et en favorisant ainsi la musculature agoniste parésiée. Elles sont donc proposées le plus souvent en relais d'une prise en charge par la toxine botulique dont elles peuvent reproduire l'effet antispastique quand on souhaite un effet pérenne dans des situations où il n'est pas recommandé de poursuivre des injections répétées ou si la toxine perd progressivement de son effet.

La neurotomie sélective du nerf tibial dans la région poplitée, pour le traitement du pied spastique en équino-varus et flexion des orteils, est la neurotomie la plus fréquemment réalisée (6, 7, 8). Il faut noter cependant que le taux de récurrence de la spasticité en postopératoire est plus élevé chez l'enfant (30 %) que chez l'adulte (15 %) (9). Pour la prise en charge de la spasticité au membre inférieur, d'autres localisations de neurotomie sélective sont utilisées : la neurotomie du nerf obturateur, sous le canal obturateur, pour le traitement de la spasticité en adduction de la hanche ; la neurotomie sélective des fascicules du nerf sciatique destinés aux muscles ischio-jambiers, au niveau de la région glutéale pour le traitement du flexum spastique du genou (7).

Au niveau du membre supérieur, des neurotomies sélectives ciblées sur les nerfs musculaires peuvent aussi être réalisées dans différentes localisations (7). Récemment, ont été décrites des neurotomies des branches collatérales du plexus brachial pour spasticité de l'épaule (10). Des neurotomies sélectives du nerf musculo-cutané sont réalisables pour le traitement d'une spasticité en flexion du coude. Des neurotomies hyper-sélectives au niveau des collatérales musculaires du nerf médian et du nerf ulnaire peuvent être proposées pour le traitement de spasticité en flexion-pronation du poignet et en flexion des doigts (11).

Les complications des neurotomies sont essentiellement de deux ordres :
- affaiblissement trop marqué du muscle concerné par un geste excessif ;
- déficit sensitif et douleurs en cas de lésions de fascicules sensitifs. L'expérience du chirurgien permet de réduire ces risques au minimum.

Les radicotomies dorsales

Ce geste correspond à une interruption des afférences du réflexe monosynaptique mais aussi des réflexes polysynaptiques notamment en flexion. Néanmoins, des effets indésirables, notamment sensitifs et sphinctériens, ont limité l'application de radicotomies dorsales dans le passé. Pour diminuer ces désavantages, plusieurs auteurs dans les années 60 et 70 ont développé des techniques opératoires plus sélectives. Celles-ci ont été utilisées plus particulièrement pour le traitement de la spasticité de l'enfant infirme moteur d'origine cérébrale. L'école montpelliéraine du Pr Gros (12) puis Fasano (13) ont ainsi mis au point des techniques de rhizotomie dorsale sélectives qui réalisent des interruptions partielles des racines dorsales, dirigées par le bilan clinique préopératoire et par un repérage électrophysiologique peropératoire. Une technique de radicotomie dorsale percutanée, réalisable pour quelques niveaux radiculaires seulement, sous anesthésie locale, a été par la suite mise au point. Elle permet de traiter des patients en mauvais état général ne pouvant subir une AG. Les radicotomies dorsales ne créent pas de troubles de la sensibilité dans les territoires opérés ni d'altération électrophysiologique tant que l'interruption ne concerne pas plus de 60 % des fibres.

Sur ces bases, cette technique est utilisée par de nombreuses équipes neurochirurgicales, particulièrement chez l'enfant infirme moteur d'origine cérébrale dans le cadre de différents niveaux d'atteinte motrice (14, 15, 16) : avec un simple objectif d'amélioration du confort chez les enfants sans autonomie de déplacement, jusqu'à, pour certains auteurs, un objectif d'amélioration fonctionnelle de la marche nécessitant en postopératoire une prise en charge intensive et prolongée en rééducation fonctionnelle pour optimiser le résultat (15).

La drezotomie microchirurgicale

La chirurgie dans la zone d'entrée de la racine dorsale (correspondant en anglais à la « *dorsal root entry zone* » = DREZ) a été introduite en 1972 par M. Sindou (17, 18) pour le traitement de douleurs chroniques. Comme elle diminue le tonus musculaire, cette technique chirurgicale a été également utilisée chez des patients atteints d'hyperspasticité focalisée. Cette méthode a pour objectif d'interrompre sélectivement les fibres nociceptives de petit calibre ainsi que les fibres myotatiques, situées respectivement latéralement et centralement dans la zone d'entrée de la racine dorsale de la moelle épinière ; tout en épargnant les fibres lemniscales de gros calibre qui sont, elles, situées plus médialement dans cette zone d'entrée. Une lésion chirurgicale limitée à la partie latérale de la zone d'entrée permet ainsi de supprimer préférentiellement les afférences spinales mono- et polysynaptiques tout en respectant la sensibilité cutanée superficielle et proprioceptive consciente. Après un abord postérieur par laminectomie, l'identification des niveaux métamériques correspondant à l'atteinte spastique considérée comme invalidante est réalisée par une étude des réponses musculaires à une stimulation électrique bipolaire des racines ventrales ou dorsales. Puis l'intervention consiste à réaliser des lésions microchirurgicales grâce à une fine pince bipolaire au niveau de l'entrée des radicelles dorsales dans le sillon dorso-latéral tout le long du segment médullaire sélectionné pour l'opération (17).

Les complications de cette méthode sont surtout de type postopératoire non spécifique (respiratoires, digestives...) et rencontrées chez les patients les plus fragiles nécessitant ainsi un suivi postopératoire rigoureux. Les atteintes neurologiques indésirables après chirurgie (cordonales postérieures, pyramidales...) sont liées à des lésions mal localisées et sont donc limitées par l'expérience chirurgicale.

Cette technique de drezotomie microchirurgicale aux niveaux L2-S1 est indiquée principalement pour le traitement de la spasticité invalidante des membres inférieurs chez des patients paraplégiques, particulièrement quand il existe des spasmes et que l'atteinte spastique est associée à des douleurs. Par ailleurs, les situations où il existe une perte du contrôle sphinctérien, une hyperactivité de la vessie avec contractions non inhibées, diminution de la compliance vésicale, menace de reflux vésico-urétéral, peuvent être traitées avec succès par une drezotomie aux niveaux métamériques S2-S4, si le detrusor n'a pas atteint un état de fibrose irréversible (19). Dans le cadre de l'atteinte spastique du membre supérieur, la drezotomie microchirurgicale cervicale (C5-T1) trouve aussi des indications, notamment si l'atteinte spastique est diffuse de l'épaule à la main.

Il est à remarquer qu'en dehors de ces effets de diminution de l'hypertonie spastique sur le long terme, de correction des postures anormales et de suppression des douleurs associées, la drezotomie chirurgicale permet à la rééducation fonctionnelle d'être reprise chez ces enfants gravement atteints. Dans certain cas, une amélioration fonctionnelle, liée à la réapparition ou à l'amélioration d'une motricité volontaire préalablement masquée, peut être notée.

Indications de la neurochirurgie chez les enfants infirmes moteurs cérébraux

De manière très schématique, deux situations cliniques peuvent être distinguées. (Pour plus de détails se référer à [20, 21, 22].)

L'enfant diplégique

Dans le cadre d'une hypertonie des membres inférieurs à prédominance spastique chez un enfant diplégique symétrique, devant cette spasticité globale on propose soit une radicotomie dorsale sélective, soit une infusion intrathécale de baclofène, chacune de ces approches thérapeutiques ayant un champ d'indication particulier.

La radicotomie est plus volontiers proposée si l'on souhaite une action préférentielle limitée sur certains groupes musculaires seulement. L'infusion intrathécale de baclofène est une technique réversible qui comporte un effet myorelaxant non sélectif topographiquement mais diffus sur l'ensemble de la musculature des deux membres inférieurs. Elle nécessite par ailleurs un cadre de vie permettant un suivi médical imposé régulier pour la surveillance et les remplissages itératifs.

Ainsi, une intervention de radicotomie dorsale au niveau lombo-sacré permet quant à elle de supprimer la spasticité dans les membres inférieurs « à la carte » en privilégiant son effet sur certains groupes musculaires, tout en en préservant d'autres. Elle peut être proposée avant 6 ans. Son efficacité est généralement définitive. Il faut aussi remarquer que ce geste a fréquemment des effets favorables à distance sur le tonus des membres supérieurs et du tronc, la parole et la déglutition.

De nombreuses équipes anglo-saxonnes utilisent cette technique dans des indications d'amélioration de l'efficacité de la marche chez des enfants autonomes. Pour Abbott (14), cette intervention est d'autant plus efficace qu'elle est réalisée de façon précoce dès que l'enfant a démontré des capacités à la marche en milieu de rééducation entre l'âge de 3 et 7 ans. Des enfants qui se déplacent avec l'aide de canne, d'orthèses ou d'une personne peuvent être opérés pour diminuer leurs dépendances vis-à-vis de cette assistance, pourvu qu'avec évidence il existe à la fois un excès d'hypertonie spastique et de manière sous-jacente une bonne motricité analytique au niveau de la musculature anti-gravidique. La chirurgie ne doit pas être envisagée tant que les enfants développent leur locomotion et n'ont besoin que d'assistance temporaire à la marche. Les enfants qui se déplacent à quatre pattes ou en rampant peuvent bénéficier d'une radicotomie dorsale pour passer à un stade de marche assistée et améliorer leur position assise. Chez les enfants grabataires, les indications chirurgicales sont limitées à la recherche d'une amélioration du confort et du *nursing*. Dans les situations de luxation douloureuse de la hanche, une indication de drezotomie microchirurgicale peut être discutée en association avec la chirurgie orthopédique.

Les atteintes asymétriques

Pour les enfants atteints de spasticité asymétrique, comme dans le cadre d'une hémiplégie, l'objectif est d'essayer de rendre la marche ou la posture plus symétrique. En cas de difficultés d'utilisation de la toxine botulique, une neurotomie sélective périphérique peut être utilisée dans ce but, particulièrement aux niveaux obturateur et tibial pour le traitement d'une hanche spastique et d'un pied spastique respectivement.

Conclusion

Dans certains cas bien sélectionnés, l'enfant atteint de spasticité invalidante résistant aux thérapeutiques médicales et physiques peut bénéficier de la neurochirurgie fonctionnelle pour sortir d'une impasse thérapeutique et reprendre un programme actif de rééducation fonctionnelle. La neurochirurgie luttant contre la spasticité participe ainsi à un programme thérapeutique sur plusieurs années. Elle doit idéalement être envisagée avant l'apparition de rétractions musculo-tendineuses et de déformations orthopédiques. Cependant, lorsque les rétractions sont constituées, la neurochirurgie de la spasticité peut permettre un geste chirurgical orthopédique ultérieur plus efficace. La chirurgie orthopédique fait partie du programme thérapeutique à plus long terme et sera envi-

sagée en fonction de l'évolution neuro-orthopédique avec la croissance après traitement initial de la cause des déformations, c'est-à-dire de la spasticité.

La phase d'évaluation de chaque enfant, dans un cadre multidisciplinaire, est cruciale, afin de définir l'objectif du traitement, puis les techniques les plus appropriées pour y parvenir, dans un contexte de dialogue clair avec son entourage. Pour peu que ces conditions soient remplies, la neurochirurgie fonctionnelle avec des ambitions limitées et bien précisées, peut rendre service à ces enfants particulièrement handicapés.

Références

1. Katz RT (1988) Management of spasticity. Phys Med Rehabil, 67: 108-106
2. Penn RD, Kroin JS (1985) Continous intrathecal baclofen for severe spasticity, Lancet, 2: 125-7
3. Mertens P, Parise M, Garcia-Larrea L *et al.* (1995) Long term clinical, electrophysiological and urodynamic effects of chronic intrathecal baclofen infusion for treatment of spinal spasticity, Acta Neurochir, 64: 17-25
4. Lazorthes Y, Sallerin-Caute B, Verdie JC *et al.* (1990) Chronic intrathecal baclofen administration for control of severe spasticity, J. Neurosurg, 72: 393-402
5. Emery E (2003) Baclofène intrathécal. Analyse de la littérature des résultats, et complications. Neurochirurgie, 49, 276-88
6. Decq P (2003) Les neurotomies périphériques dans le traitement de la spasticité des membres. Neurochirurgie, 49, 293-305
7. Mertens P, Sindou M (1991) Selective peripheral neurotomies for the treatment of spasticity, in Sindou M, Abbott R, Keravel Y (eds): Neurosurgery for Spasticity: A Multidisciplinary Approach. Wien New-York, Springer-Verlag, p 119-32
8. Deltombe T, Gustin T, Laloux P *et al.* (2001) Selective fascicular neurotomy fot spastic equinovarus foot deformity in cerebral palsy children. Acta Orthop Belg; 67(1): 1-5
9. Bérard C, Sindou M, Berard J *et al.* (1998) Selective neurotomy of the tibial nerve in the spastic hemiplegic child: an explanation of the recurrence. J Pediatr OrthopB ; 7(1): 66-70
10. Decq P, Filipetti P, Feve A *et al.* (1997) Peripheral selective neurotomy of the brachial plexus collateral branches for treatment of the spastic shoulder : anatomical study and clinical results in five patients. J Neurosurg, 86: 648-53
11. Maarrawi J, Mertens P, Luaute J *et al.* (2005) Long-term functional results of selective peripheral neurotomies for treatment of spastic upper limb. A prospective study on 31 patients. J Neurosurg (sous presse)
12. Gros C (1979) Spasticity : Clinical classification and surgical treatment. Advances and Technical Standards in Neurosurgery, vol 6, Wien, Springer-Verlag, p 55-97
13. Fasano VA, Barolat-Romana G, Ivaldi A *et al.* (1976) La radicotomie postérieure fonctionnelle dans le traitement de la spasticité cérébrale. Neurochirurgie, 22: 23-34
14. Abbott R, Forem SL, Johann M (1982) Selective posterior rhizotomy for the treatment of spasticity. Childs Nerv Syst, 5: 337-46
15. Mittal S, Farmer JP, Al-Atassi B *et al.* (2002) Long term functional outcome after selective posterior rhizotomy. J Neurosurg ; Aug 97 (2): 315-25
16. Sindou M (2003) Radicotomies dorsales chez l'enfant. Neurochirurgie 49: 312-24

17. Hodgkinson I, Bérard C, Jindrich ML *et al.* (1998) Selective Dorsal Rhizotomy in Children with Cerebral Palsy. Results in 18 cases at one year Postoperative Stereotact Funct Neurosurg, 62-71
18. Mertens P, Sindou M (2003) Traitement de la vessie hyperactive par Drezotomie micro-chirurgicale sacrée. Neurochirurgie, 49, 399-403
19. Mertens P, Sindou M (2003) La Drezotomie microchirurgicale pour le traitement de la spasticité des membres. Neurochirurgie, 49, 325-38
20. Sindou M, Abbott R, Keravel Y (1991) Neurosurgery for Spasticity : A Multidisciplinary Approach. Wien-New York, Springer Verlag, pp 218
21. Decq P, Mertens P (2003) La Neurochirurgie de la spasticité. Rapport de la société de Neurochirurgie de la Société de Neurochirurgie de langue française. Neurochirurgie, 49, 133-416
22. Mertens P, Sindou M (2001) Surgical management of spasticity; In : Barnes JP, Johnson Gr (eds) Clinical management of spasticity. Cambridge University press, pp239-265
23. Sindou M, Abbott R, Keravel Y (1991) Neurosurgery for Spasticity : A Multidisciplinary Approach. Wien-New York, Springer Verlag, pp 218
24. Hodgkinson I, Sindou M (2003) Traitement neurochirurgical de la spasticité : indications chez l'enfant. Neurochirurgie 49: 408-12

Étude rétrospective des moyens thérapeutiques mis en œuvre chez l'IMC marchant

A. Gastal et C. Rech

Tout au long de leur vie, les patients Infirmes Moteur Cérébraux luttent pour acquérir, améliorer ou conserver la marche. Les moyens mis en œuvre sont souvent contraignants. Outre les médicaments, il s'agit de la chirurgie, de la kinésithérapie et des aides techniques.

L'objectif de cette étude est de décrire rétrospectivement le profil de patients qui accèdent à la marche, leur parcours thérapeutique ainsi que les coûts énergétiques et fonctionnels qu'implique ce mode de déplacement.

Le service CECOIA est une unité de consultation, évaluation, conseil et orientation des IMC et polyhandicapés adultes, basée à l'hôpital National de Saint-Maurice. En 2003, 107 nouveaux patients sont venus consulter dans le service et ont tous bénéficié d'un examen médical, de bilans en kinésithérapie et en ergothérapie. Certains d'entre eux, ont bénéficié de consultations médico-chirurgicales spécialisées sur la problématique de l'IMC avec des orthopédistes de Garches et un neurochirurgien de Créteil. Cette étude porte sur les 27 d'entre eux qui avaient un score de marche entre 0 et 3 selon la cotation de Tardieu et qui ont bénéficié d'une évaluation complète en kinésithérapie avec passage de l'item « Marche Course et Saut » et « Station Debout »de l'Évaluation Motrice Fonctionnelle Globale (EMFG) (1, 2, 3) ainsi que la mesure de leur Index de Dépense Énergétique (IDE) (4, 5, 6, 7).

Les informations recueillies sont le sexe, le type d'atteinte (noté en hémiplégie, diplégie, quadriplégie, athétose), l'âge, la demande principale lors de la première consultation, la présence de douleur et ses facteurs déclenchants (à la marche ou au repos), le type de domicile (indépendant ou collectif), l'âge d'acquisition de la marche, le nombre actuel de prise en charge en kinésithérapie hebdomadaire ainsi que le nombre estimé de séances dans leur vie, le nombre d'intervention chirurgicale effectuée pour la marche, la zone de l'intervention (pied-cheville, genou et hanche), les items « Station debout » et « Marche Course et saut » de l'EMFG, l'Index de Dépense Énergétique avec la vitesse moyenne lors de l'épreuve et le rapport fréquence cardiaque maximal observé sur la fréquence cardiaque théorique maximale. Nous avons également appliqué la classification de la marche de Sutherland (8) ou de Gage (9), la cotation de la marche selon Tardieu, et enfin, le traitement préconisé au patient à l'issue des consultations et bilans de notre service.

Rappelons que la cotation de Tardieu comprend cinq stades :
– 0 = marche normale ;
– 1 = léger défaut de marche perceptible par un spécialiste ;
– 2 = défaut de marche visible par tout le monde ;
– 3 = défaut de marche gênant la locomotion ou nécessitant une aide de marche ;
– 4 = marche impossible.

L'Index de Dépense Énergétique (IDE) est un test qui estime la dépense énergétique de la marche. Il consiste à faire marcher un patient en terrain plat pendant cinq minutes avec la consigne de marcher comme d'habitude. Cet index est le rapport entre la fréquence cardiaque à la 5e minute, et la vitesse moyenne en mètre par minute. La norme de ce rapport est inférieure ou égale à 1,8 (6). Ce test est validé pour les enfants, bien qu'il ne soit pas toujours corrélé à la consommation d'oxygène mesurée en spirométrie (10).

L'Évaluation Motrice Fonctionnelle Globale (EMFG) est une mesure quantitative de la motricité fonctionnelle. Elle comprend 88 épreuves réparties en 5 rubriques. Chaque item est coté de 0 (échec) à 3 (note maximale). Seules 2 rubriques ont été prises en compte dans cette étude, il s'agit de la rubrique « Marche Course et Saut » qui comprend 24 items et la rubrique « Station Debout » qui comprend 13 items. Le résultat est donné en pourcentage pour chaque rubrique. Ce test est validé chez l'enfant IMC.

La classification de la marche selon Sutherland s'applique aux IMC diplégiques. Elle observe, dans le plan sagittal, la flexion de la cheville, de la hanche et surtout du genou dans les différents temps de la marche et en retire les schèmes de marche anormaux les plus classiquement rencontrés. Elle répertorie cinq anomalies types, qui peuvent se combiner entre elles : le « *jump knee gait* », l'« *apparent équinus* », le « *stiff knee gait* », le « *recurvatum* » et le « *crouch knee gait* ».

La classification de Gage s'applique aux hémiplégiques. Elle observe les angles de la hanche, du genou et de la cheville, essentiellement sur le plan sagittal, mais également sur le plan frontal. Elle répertorie quatre anomalies du schéma de marche typique : les stades I, II, III et IV.

Description de la population accédant aux soins

Notre population est composée de 11 hommes (41 %) et de 16 femmes (59 %), la moyenne d'âge est de 25 ans (de 16 à 49 ans). Il y a 1 patient athétosique (4 %), 13 diplégiques (48 %), 12 hémiplégiques, dont 4 droits (15 %) et 8 gauches (29 %), et 1 quadriplégique (4 %). 24 de nos sujets vivent au domicile, 3 en institution.

Ces patients sont venus consulter dans le service en mettant en avant, lors de la première consultation, le motif principal suivant : 5 venaient pour des douleurs, 4 pour rechercher une orientation sociale, scolaire ou professionnelle, 8 pour des troubles de la marche et de l'équilibre, 1 pour un problème de fatigue et enfin 9 pour un suivi au long cours, sans plainte particulière.

La qualité de la marche selon Tardieu est jugée normale dans 3 cas, cotée à 1 dans 7 cas, elle est cotée à 2 dans 9 cas, enfin 8 avaient un défaut de marche gênant leur locomotion ou nécessitant une aide de marche, donc cotés à 3.

Pour les 12 patients hémiplégiques, la cotation de Gage retrouve une marche normale dans 3 cas, un Type I dans 2 cas, un Type II dans 5 cas, un Type IV dans 2 cas. À noter que nous n'avons pas retrouvé de type III.

Pour les 15 autres patients, la classification de Sutherland retrouve : 2 patients en *recurvatum*, 1 patient en *jump knee*, 1 en *stiff knee*, 2 en *crouch* + *stiff knee* et enfin, 9 patients qui ont un schéma de marche en *crouch*.

14 patients n'étaient pas chuteurs (52 %), 6 étaient victimes de quelques chutes par an (22 %), 7 chutaient de façon hebdomadaire (25 %).

L'âge moyen d'acquisition de la marche était de 39 mois (de 12 à 96 mois, pour les 14 patients chez qui nous avons pu obtenir cette information).

L'Index de Dépense Énergétique est normal pour 7 des 27 patients (26 %) à qui nous avons fait passer le test. Il est pathologique dans les 20 autres cas (74 %), avec des valeurs allant de 1,9 à 4,5. À noter qu'un patient a obtenu le score de 9,4.

La vitesse de marche est :
– très lente dans 10 cas (comprise entre 1,4 et 2,4 km/h) ;
– lente dans 10 cas (comprise entre 2,5 et 3,5 km/h) ;
– normale pour 7 patients (comprise entre 3,6 et 4,8 km/h) (6).

À noter qu'aucun patient ne marche rapidement et que la vitesse maximale atteinte a été de 72 m/min, soit de 4,3 km/h.

La fréquence cardiaque maximale durant l'épreuve dépasse pour 5 patients 70 % de la fréquence cardiaque théorique maximale.

L'item Marche Course et Saut de l'EMFG est compris entre 12 % et 49 % dans 10 cas, entre 50 % et 84 % dans 6 cas, et supérieur à 85 % dans les 11 derniers cas.

Chaque patient a en moyenne bénéficié de 87 heures de kinésithérapie par an (un peu plus de 2 séances par semaine, hors vacances), depuis l'âge de 1 an jusqu'à celui de 18 ans. 3 patients n'ont jamais fait de kinésithérapie (11 %), 1 en faisait séquentiellement une quinzaine d'heure par an (4 %), 4 ont été suivis régulièrement en cabinet 1 fois par semaine (15 %), 3 étaient pris en charge en cabinet 2 fois par semaine (11 %) et 16 patients étaient en institution et bénéficiaient, en période scolaire, de 3 heures de kinésithérapie hebdomadaire (59 %).

Le jour de leur première consultation dans le service, 11 patients avaient abandonné toute prise en charge en kinésithérapie (en plus des 3 qui n'en avaient jamais fait), 5 continuaient au rythme d'une séance par semaine, 5 en faisaient 2 fois et 3 continuaient de bénéficier de 3 prises en charge hebdomadaires.

16 patients avaient bénéficié de traitements chirurgicaux (60 %) avant leur première consultation dans notre service. Chacun de ces patients s'était fait opérer de 1 à 7 fois. Sur le total des 55 opérations, 22 ont eu lieu sur le complexe pied-cheville de 12 patients (70 % des 16 patients opérés), 14 ont eu lieu au niveau des genoux de 8 patients (47 % des patients opérés), et 19 sur les hanches de 9 patients (53 %des patients opérés).

Résultat des bilans

La taille de notre population est faible (27 patients). On ne retrouve pas les pourcentages habituels sur le type d'atteinte classiquement rencontré chez les IMC, avec une sous-représentation des quadriplégiques (4 %) et des dyskinétiques (4 %) au profit des hémiplégiques (45 %) et des diplégiques (47 %) (11). Nous n'avons en effet retenu que les patients marchants.

On remarque que dans la population étudiée, 14 individus (52 %) présentent des douleurs chroniques. Ce faible chiffre, par rapport à ceux retrouvés par R. Jahnsen (12) et J. M. Engel (13), s'explique par la moyenne d'âge plus basse de nos patients. 13 personnes déclarent ne souffrir d'aucune douleur (48 %).

Lors de la première consultation, la douleur n'est spontanément mise en avant que par les 2/3 des 14 personnes qui présentent des douleurs. Sur ces 14 patients, seulement 2 prenaient des médicaments antalgiques, et 6 bénéficiaient de séances de kinésithérapie antalgique. Nos patients ne déclarent ni ne traitent spontanément leurs douleurs chroniques, comme le retrouve l'étude américaine de Engel (14).

Ces douleurs sont déclenchées par la marche dans 11 cas, dans les 3 autres cas, se sont des rachialgies indépendantes de la marche avec un syndrome articulaire postérieur secondaire à un muscle psoas rétracté.

Dans les cas des douleurs déclenchées par la marche (41 % des patients de l'étude) :

– la douleur des genoux est la plus fréquente (6 cas),parmis lesquels on retrouve 3 cas de syndrome fémoro-patellaire, 1 cas de conflit fémoro-tibial et 2 cas d'atteinte des parties molles ;
– elle se situe au niveau des pieds dans 2 cas ;
– les hanches sont douloureuses pour 2 patients, dans le cadre d'une coxopathie sur insuffisance de couverture de la tête ;
– un patient se plaint de lombalgies à la marche.

Notre échantillon n'est pas assez important et trop hétérogène pour que les statistiques fassent apparaître des différences significatives. Néanmoins, nous retrouvons des douleurs à la marche plus fréquentes chez les patients de plus de 21 ans (9 cas de douleur sur 14 patients), que dans le groupe des moins de 21 ans (2 cas de douleur sur 13 patients). Il n'existe pas d'autres différences évidentes qui pourraient distinguer les patients qui présentent des douleurs à la marche des autres, on retrouve notamment, dans les 2 populations le même nombre de chutes, d'interventions chirurgicales et d'heures de kinésithérapie par an.

Lors de l'examen de la marche pendant 5 minutes, les vitesses de marche ont été plus basses que dans la population classique : 47 m/min en moyenne alors que la norme est de 70 (+/-11) m/min (6). Le patient le plus lent se déplaçait à 15 m/min, le plus rapide à 72 m/min). Pour 5 patients, la fréquence cardiaque au cours de l'épreuve a atteint plus de 70 % de la fréquence cardiaque théorique maximale (FcMax = 220 - âge). La vitesse de marche était alors très lente dans 2 cas, lente dans 2 autres et classique dans le dernier. On peut en déduire que la vitesse de marche des IMC adultes est généralement ralentie par des problèmes mécaniques ou neurologiques et que dans 15 % des cas seulement, une dépense énergétique excessive pourrait être la cause d'une marche lente.

L'investissement en temps de kinésithérapie est considérable, puisque 23 des 27 patients en on fait entre 40 et 120 heures par an, pendant plus de 16 ans. Ni les interventions chirurgicales, ni la fin de la croissance, ni les traitements par toxine botulique ne semblent pouvoir dispenser les patients d'un tel traitement puisque nous avons systématiquement conseillé de reprendre la kinésithérapie aux 11 personnes qui l'avaient interrompue. Séquentiellement dans 2 cas, en complément du traitement chirurgical ou par toxine dans 4 cas et au long cours pour les 5 autres. Au total, 21 patients (78 %) ont été invités à effectuer des séances de kinésithérapie dans le but d'entretenir la qualité de leur marche.

– 4 de façon séquentielle pour l'apprentissage des manœuvres d'auto-étirement. Il s'agissait de patients jeunes, avec peu de déformation neuro-orthopédique, une bonne commande volontaire et pas de trouble praxique évident.
– 5 pour entretenir leurs longueurs musculaires, de façon passive par des étirements ou des postures. Cette prescription concerne surtout les triceps, ischio-jambiers, psoas et droit fémoral. Elle se substitue aux auto-étirements dès que la maîtrise de l'antéversion du bassin n'est pas correcte lors de l'étirement des fléchisseurs de cuisse, ou lorsqu'il existe une cassure du médio-pied lors de l'étirement du triceps.
– 7 pour travailler la stabilité de la station debout et de la marche, associée à un entretien de leurs longueurs musculaires. Cette prescription est guidée par l'étude fonctionnelle de la marche et de la station debout, objectivée par les épreuves de l'EMFG.
– 5 pour des séances plus intensives avec étirements, renforcement musculaire et travail de l'équilibre. Cette prescription est systématique dans le cas de traitement par toxine botulique. Elle comprend un étirement des muscles toxinés, un renforcement des muscles antagonistes et un travail fonctionnel pour utiliser les nouvelles amplitudes articulaires et possibilités motrices, permises par la levée de la spasticité.

En ce qui concerne les aides techniques de marche, 9 patients (33%) utilisent une canne, des béquilles ou un rollator antérieur. Ces chiffres sont tout à fait comparables à ceux de l'étude norvégienne (11). Dans 3 cas, les cannes anglaises (1 cas) et le rollator (2 cas) ont pour but de soutenir le patient pendant sa marche, dans 4 cas, l'emploi d'une canne simple a pour but de faciliter le transfert du poids du corps, et dans 2 cas, la canne simple apporte une stabilité à la marche. Nous avons conseillé à 1 patient d'arrêter la marche (son IDE était à 9,4) comme moyen principal de déplacement, y compris à l'intérieur, et d'utiliser un fauteuil roulant manuel à l'intérieur et électrique pour les longs trajets. Nous avons préconisé à 4 patients d'arrêter la marche pour les longs trajets, et d'utiliser un fauteuil roulant manuel dans 2 cas, un fauteuil roulant électrique et un scooter électrique dans les 2 autres. Nos indications se sont fondées sur un faisceau d'argument :

– le témoignage des patients qui rapportaient une diminution de leurs activités du fait de douleurs ou de fatigue déclenchées par les trajets trop longs. Cette impression était systématiquement confirmée par un IDE franchement pathologique (supérieur à 3) ;
– l'apparition de douleurs à la marche, associées à des arguments radio-cliniques de surmenage articulaire ou tendineux. Le principe de la marche à tout prix, qui était en vigueur lorsque ces patients étaient enfants, ne nous semble plus judicieux et s'efface devant les objectifs de confort de vie et d'économie du capital articulaire. Les

possibilités de marche seront conservées par une utilisation de la marche à l'intérieur et les soins de kinésithérapie ;
- la présence de chutes ou la crainte de la chute qui réduit l'activité du patient. Là encore, les descriptions des patients et de leur entourage sont corroborées par des scores chutés à l'item marche cours et saut de l'EMFG.

En se qui concerne le chaussage, 4 patients portent des chaussures orthopédiques et 10 portent des semelles moulées. Il a été préconisé une modifications dans 3 cas (les semelles étaient refaites tous les ans, mais à partir d'un moulage datant de plus de 3 ans), une reprise après abandon dans 4 cas, et une première mise en place pour des patients qui n'en n'avaient jamais bénéficié, soit 4 cas. Ces orthèses ont été mise en place :
- pour contrôler le *valgus* de l'arrière-pied dans 12 cas. Associé à une cuvette stabilisatrice, nous n'hésitons pas à compenser l'équin de cheville par une semelle compensée dès qu'apparaît une cassure du médio-pied à l'appui. En effet, quand ce phénomène est installé, le triceps n'est de toute façon plus étiré à chaque pas puisque l'apparent mouvement de flexion dorsale de cheville se fait en fait aux dépens des articulations du médio-tarse. Le fait de respecter l'équin protège le pied sans augmenter la rétraction du triceps. On note dans notre population encore jeune la fréquence de ce type de déformation (15 cas, soit 55 %). On retrouve lors de l'examen en charge, un effondrement du pied, le talon restant au sol dans 8 cas (29 %) et une cassure du médio-pied avec décollement du talon dans 7 cas, soit 26 % des patients de cette étude. À noter que 3 patients qui présentaient ce type de déformation des pieds n'ont pas été appareillés pour des raisons esthétiques ou d'autonomie ;
- pour compenser l'équin dans 2 cas, et amener une meilleure stabilité du pied en phase d'appui. À noter que cette prescription est accompagnée de conseils d'auto-étirements et de séances de kinésithérapie pour lutter contre la rétraction du triceps. Ce type de déformation est rencontré chez 4 de nos patients (15 %) ;
- Les 2 patients ayant un varus de l'avant-pied n'ont pas été appareillés.

À noter 3 patients hémiplégiques pour qui nous avons réalisé des semelles de compensation de longueur, car le pied du côté atteint chaussait 2 à 3 pointures de moins que le pied sain (27 % des hémiplégiques).

Pour 5 patients, nous avons pratiqué des injections de toxine botulique :
- pour 3 d'entre eux, l'objectif était de stabiliser l'appui du pied au sol, l'injection a eu lieu dans les triceps et des semelles moulées ont été confectionnées ;
- pour 2 d'entre eux, l'objectif était de faciliter le passage du pas. Dans un cas, l'injection a été réalisée dans le triceps, dans le second cas, au niveau du triceps et du muscle droit fémoral ;
- dans le dernier cas, le traitement visait à diminuer l'adduction de hanche lors du pas antérieur. Les muscles toxinés ont été le muscle gracile et le faisceau inférieur du grand adducteur.

Dans 3 cas, nous avons proposé une chirurgie, 2 fois sur rétraction du triceps (les 2 patients avaient déjà été opérés à ce niveau) et une fois sur rétraction des fléchisseurs de hanche, la patiente ayant bénéficié d'un allongement des ischio-jambiers 5 ans auparavant.

Conclusion

Un échantillon de 27 patients IMC marchants a été étudié pour apprécier l'investissement nécessaire à l'accès puis au maintien d'une marche utilisable au quotidien, comme moyen principal de déplacement.

Cette population est jeune (une moyenne de 25 ans), les patients diplégiques et hémiplégiques y sont plus fréquents que dans l'ensemble de la population IMC, l'âge moyen d'acquisition de la marche est de 3 ans, 89 % vivent au domicile, 11 % dans une institution.

23 patients (85 %) ont été pris en charge en kinésithérapie de 1 à 3 heures par semaine, 17 patients ont bénéficié de traitements chirurgicaux (63 %), avec, dans ces cas, une moyenne de 3,5 interventions par patient.

Cette marche, chèrement acquise, reste fragile. Elle nécessite un entretien régulier dans 21 cas, en kinésithérapie dans 17 cas (63 %) ou par auto-entretien dans 4 cas (15 %). 6 personnes (22 %) n'utilisent aucune aide technique, 9 utilisent des cannes ou un rollator (33 %), 4 utilisent parfois un fauteuil roulant (15 %) et 14 de nos patients nécessitent un soutien du pied ou de la cheville (52 %). Elle n'est pas parfaite, puisqu'elle est lente ou très lente dans 74 % des cas, occasionne des douleurs dans 41 % des cas et des chutes pour 47 % de nos patients.

Dans un souci de fonctionnalité et de confort pour le patient, mais aussi dans le but de préserver la fonction dans l'avenir, la marche chez l'IMC déambulant doit être minutieusement et régulièrement entretenue. Il faut même parfois savoir l'économiser et demander à nos patients d'utiliser des moyens de déplacement alternatifs.

Références

1. Boyce W, Gowland C, Rosenbaum P *et al.* (1992) Gross motor performance measure for children with cerebral palsy: study design and preliminary findings. Can J Public Health; 83 Suppl 2: S34-40
2. Berard C, Hodgkinson I (1998) Évaluation motrice fonctionnelle globale (EMFG). Une mesure objective pour enfants infirmes moteurs cérébraux. Motricité cérébrale. T19 n°1
3. Nordmark E, Hagglund G, Jarnlo GB (1997) Reliability of the gross motor function measure in cerebral palsy. Scand J Rehabil Med; 29(1): 25-8
4. Harris T, Damiano D, Abel M (1997) The Energy Efficiency Index as a Functional Measure in Diplegic Cerebral Palsy. Gait and Posture, vol. 5, no. 2, pp. 142-142(1)
5. Cristol C, Bérard C (1998) Functional assessment of comfortable walk by energy expenditure index in childhood Ann readapt méd Phy, 41, no. 7, pp. 429-433(5)
6. Rose J, Gamble JC, Lee R *et al.* (1991) The energy expenditure index: a method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents. J Pediatr Orthop; 11(5): 571-8
7. Wiart L, Darrah J (1999) Test-retest reliability of the energy expenditure index in adolescents with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol ; 41(10): 716-8
8. Sutherland DH, Davids JR (1993) Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. Clin Orthop;(288): 139-47

9. Winters TF Jr, Gage JR, Hicks R (1987) Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. J Bone Joint Surg Am; 69(3): 437-41
10. Keefer DJ, Tseh W, Caputo JL *et al.* (2004) Comparison of direct and indirect measures of walking energy expenditure in children with hemiplegic cerebral palsy. Dev Med Child Neurol; 46(5): 320-4
11. Jahnsen R, Villien L, Egeland T *et al.* (2004) Locomotion skills in adults with cerebral palsy. Clin Rehabil; 18(3): 309-16
12. Jahnsen R, Villien L, Aamodt G *et al.* (2004) Musculoskeletal pain in adults with cerebral palsy compared with the general population. J Rehabil Med; 36(2): 78-84
13. Engel JM, Jensen MP, Hoffman AJ *et al.* (2003) Pain in persons with cerebral palsy: extension and cross validation. 1: Arch Phys Med Rehabil; 84(8): 1125-8
14. Engel JM, Kartin D, Jensen MP (2002) Pain treatment in persons with cerebral palsy: frequency and helpfulness. Am J Phys Med Rehabil; 81(4): 291-6

Mise en page : Graficoul'Eure (27)

Achevé d'imprimer sur les presses de l'Imprimerie BARNÉOUD
B.P. 44 - 53960 BONCHAMP-LÈS-LAVAL
Dépôt légal : Mai 2005 - N° d'imprimeur : 505.005
Imprimé en France